



Manuel Tomé da Cruz
Barbosa

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA E RESÍDUOS FLORESTAIS PARA A PRODUÇÃO DE PELLETS



Manuel Tomé da Cruz
Barbosa

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA E RESÍDUOS FLORESTAIS PARA A PRODUÇÃO DE PELLETS

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais pelo incansável apoio que me concederam e pela possibilidade que me deram de prolongar os meus estudos.

O júri

Presidente

Prof. Doutor Francisco José Malheiro Queirós de Melo

Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia

Professor Catedrático do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Fernando José Neto da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que directa ou indirectamente contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado.

Ao meu orientador Prof. Doutor Fernando Neto pela sua disponibilidade, orientação e dedicação ao longo da realização deste trabalho.

Por último agradeço calorosamente à minha família e amigos pelo apoio e motivação prestados no decorrer deste percurso.

Palavras-chave

Pellets, peletização, biomassa, resíduos florestais, linha de produção de pellets, energia.

Resumo

Um dos principais objectivos da política energética actual centra-se na minimização da dependência energética e na diminuição da emissão de poluentes. Neste sentido a utilização da biomassa para a produção de energia encontra-se hoje em dia em grande desenvolvimento. Assim, a transformação de biomassa num recurso de fácil e cómoda utilização deve ser considerado como pressuposto essencial a uma eventual disseminação da biomassa como um combustível viável.

Na presente dissertação foi efectuada uma análise da utilização de biomassa e resíduos florestais para a produção de pellets. Numa primeira fase foi efectuado o levantamento do estado actual das tecnologias de produção de pellets existentes e do estado da floresta em Portugal. Seguidamente, nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu foi quantificada a matéria-prima com potencial para aproveitamento e posterior transformação em pellets. Foram analisados todos os custos associados ao tratamento da biomassa, nomeadamente, custos de recolha, custos da sua transformação em pellets e posterior distribuição. Foi considerado um caso de estudo de implementação de uma unidade de produção de pellets, considerando todo o investimento necessário e analisados indicadores relativos à sua localização. Realizou-se uma análise económica da unidade de produção de pellets considerando várias capacidades de produção. Com o intuito de auxiliar esta análise e para posterior utilização noutras situações semelhantes foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo. A ferramenta de cálculo tem a capacidade de monitorizar todos os custos de obtenção de matéria-prima, de produção e de distribuição de pellets. Além disso, permite efectuar a análise económica e financeira de unidades de produção de pellets.

Keywords

Pellets, pelletizing, biomass, forest residues, pelleting line, energy.

Abstract

One of the main objectives of the current energy politics is centred in the minimization of the energy dependence and in the reduction of pollutants emissions. Accordingly the utilization of the biomass for energy production is nowadays in great development. The transformation of biomass in a resource of easy and simple use must be considered as an essential presupposed to an eventual dissemination of the biomass as a viable fuel.

In the present dissertation was made an analysis of the use of biomass and forest waste for pellets production. In the first phase was made the review of the current state of the existing technologies of production and the amount of raw material with potential for exploitation and subsequent transformation in pellets in a delimited region in Portugal. Subsequently, in the districts of Aveiro, Coimbra and Viseu was quantified the raw material with potential for recovery and subsequent transformation into pellets. Was analyzed all the associate costs to biomass treatment, collection costs, costs of transformation into pellets and further distribution. It was considered a case study for implementation of pellets production manufacture, considering all the necessary investment and indicators of there location. Was made an economic analysis of the pellets production factory for different productions capacities. With intention of assisting this analysis and for subsequent use in similar situations a calculation tool was developed. The tool has the ability to analyse all costs of obtaining feedstock, pellets production, distribution and economic analysis.

Índice

Índice de figuras	11
Índice de tabelas	12
Índice de gráficos	13
Nomenclatura.....	14
1 Introdução.....	15
2 Objectivos.....	16
3 Metodologia.....	17
4 Estado da arte	18
4.1 Biomassa	18
4.2 Pellets	19
4.3 Definição das etapas necessárias para a produção de pellets	23
5 Inventariação de recursos.....	24
5.1 Recursos tecnológicos	24
5.1.1 Equipamentos para conversão de biomassa em pellets.....	24
5.1.1.1 Linha de produção de pellets	24
5.1.1.2 Estilhaçadores	25
5.1.1.3 Peneiradores.....	26
5.1.1.4 Moinhos	27
5.1.1.5 Secadores	28
5.1.1.6 Peletizadoras	29
5.1.1.7 Arrefecedores.....	32
5.1.1.8 Peneiras vibratórias.....	33
5.1.1.9 Transportadores	34
5.1.1.10 Silos	36
5.1.2 Balança de embalagem de pellets.....	37
5.1.3 Queimadores de pellets	38
5.1.4 Armazenamento e distribuição de pellets	40
5.2 Inventariação de matéria-prima.....	42
5.2.1 Distribuição e composição da floresta em Portugal	42
5.2.2 Resíduos de biomassa para a produção de pellets	45
5.2.3 Resíduos florestais.....	45
5.2.4 Resíduos industriais.....	46

5.2.5	Resíduos agrícolas	47
6	Disponibilidade de biomassa para a produção de pellets.....	47
6.1	Escolha da zona de estudo para implementação da fábrica de produção de pellets	47
6.2	Estimativa da disponibilidade de resíduos de biomassa nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu	48
6.2.1	Potencial existente de resíduos de biomassa	49
6.2.1.1	Distrito de Aveiro	49
6.2.1.1.1	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo eucalipto	49
6.2.1.1.2	Estimativa da quantidade resíduos gerados pelo pinheiro bravo	50
6.2.1.1.3	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pela indústria da madeira e do mobiliário	50
6.2.1.2	Distrito de Coimbra	51
6.2.1.2.1	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo eucalipto	51
6.2.1.2.2	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo pinheiro bravo	52
6.2.1.2.3	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pela indústria da madeira e do mobiliário	52
6.2.1.3	Distrito de Viseu	52
6.2.1.3.1	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo eucalipto	53
6.2.1.3.2	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo pinheiro bravo	53
6.2.1.3.3	Estimativa da quantidade de resíduos gerados pela indústria da madeira e do mobiliário	53
6.2.1.4	Análise de resultados da estimativa dos resíduos existentes	54
6.2.2	Estimativa do consumo de resíduos nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu, levando em consideração os actuais consumidores e os projectos lançados a concurso.....	55
6.2.2.4	Distrito de Aveiro	56
6.2.2.5	Distrito de Coimbra	56
6.2.2.6	Distrito de Viseu	56
6.2.3	Distribuição e disponibilidade dos resíduos de biomassa disponíveis nos diferentes distritos	57
6.2.4	Indicadores relativos à localização de uma unidade de produção de pellets.....	58
7	Análise do potencial de mercado.....	60
8	Análise das etapas associadas a todo o processo de produção de pellets	64
8.1	Análise dos custos associados à recolha de matéria-prima	65
8.1.1	Estimativa dos custos de colheita da matéria-prima na floresta	66
8.1.2	Estimativa dos custos de transporte da matéria-prima	67
8.1.3	Estimativa dos custos de estilhaçamentos dos resíduos florestais.....	69
8.1.4	Análise dos custos totais de recolha de resíduos de matéria-prima	70
8.2	Análise dos custos associados à linha de produção de pellets.....	71

8.2.1	Análise dos custos de mão-de-obra da linha de produção de pellets	72
8.2.2	Análise dos custos energéticos e de manutenção dos equipamentos	72
8.3	Análise dos custos associados à distribuição de pellets.....	73
9	Desenvolvimento de uma ferramenta de análise e projecto conceptual.....	76
9.1	Matéria-prima.....	77
9.2	Produção.....	78
9.3	Investimentos e distribuição	79
9.4	Vendas	79
9.5	Financiamento e análise económica.....	79
10	Dimensionamento de uma unidade de produção de pellets.....	80
10.1	Análise económica da fábrica de produção de pellets.....	80
10.1.1	Plano de investimento para a fábrica de produção de pellets	80
10.1.1.1	Investimento em terreno e infra-estruturas	80
10.1.1.2	Investimento em equipamentos constituintes da linha de produção de pellets	81
10.1.1.3	Investimento em veículos de recolha e distribuição.....	81
10.1.2	Plano de vendas	82
10.1.3	Indicadores económicos de viabilidade, valor actual líquido (VAL), taxa interna de rentabilidade (TIR) e período de retorno do investimento (PRI)	82
11	Caso de estudo de implementação de uma unidade de produção de pellets.....	83
11.1	Estrutura de custos e consumos médios associados à produção de pellets	83
11.2	Estudo de viabilidade de unidades de produção de pellets em função do custo da matéria-prima.	84
11.3	Definição da capacidade de produção da fábrica de produção de pellets	87
11.4	Resultados	88
11.4.1	Investimento necessário para as várias capacidades de produção	88
11.4.2	Custos de funcionamento da fábrica de produção	89
11.4.3	Plano de vendas	91
11.4.4	Indicadores económicos de viabilidade para a unidade de produção de pellets. ...	91
11.1	Análise e comparação do custo para o consumidor da utilização de pellets em relação a outras fontes de energia	93
12	Conclusões.....	96
13	Sugestões para trabalhos futuros	98
	Bibliografia	99

Índice de figuras

Figura 1 – Pellets de biomassa.	20
Figura 2 – Esquema das etapas para a produção de pellets	23
Figura 3 – Esquema com as várias secções de funcionamento de uma linha de produção de pellets.....	24
Figura 4 - Constituição de uma linha de produção de pellets com a capacidade de produção de uma tonelada por hora e indicação do fluxo do material. [13].....	25
Figura 5 – Estilhaçador série PTLM da LIPPEL. [14]	26
Figura 6 – Moinhos de martelos da Calibras. [17]	27
Figura 7 – Esquema de funcionamento de um moinho de facas. [18]	28
Figura 8 – Secador rotativo. [14].....	29
Figura 9 – Esquema de funcionamento de uma peletizadora de matriz plana KAHL Pelleting Presses [21]..	30
Figura 10 – Matriz anelar de peletizadora. [22]	31
Figura 11 – Esquema de funcionamento de uma peletizadora com matriz anelar modelo 9700 Wood Pellet Mill [23]	32
Figura 12 – Arrefecedor vertical de pellets modelo SLNF Wood Pellet Mill [23].....	33
Figura 13 – Peneira plana vibratória. [17]	34
Figura 14 – Esteira transportadora. [23]	35
Figura 15 – Representação de um transportador em parafuso horizontal. [26]	35
Figura 16 – Elevador transportador. [23]	36
Figura 17 – Silo de armazenamento. [27].....	36
Figura 18 – Balança de embalamento de pellets.[15].....	37
Figura 19 - Esquema de funcionamento de um forno a pellets. 1 – Compartimento para armazenamento de pellets, 2 – Sistema transportador, 3 – Zona de combustão, 4 – Ignição, 5 – Câmara de combustão, 6 – Sensor de volume de ar, 7 – Ventoinha para fumo. [29]	38
Figura 20 – Esquema de funcionamento de uma caldeira a pellets. [30].....	39
Figura 21 – Transferência de pellets de um camião cisterna para um silo de saco. [1]	41
Figura 22 – Esquema de um tanque de armazenamento subterrâneo. [1].....	42
Figura 23 – Distribuição no território nacional das diferentes espécies. [36].....	43
Figura 24 – Macrozonagem das funções dominantes do espaço florestal estabelecidas em função das produtividades potenciais lenhosas. [36].....	44
Figura 25 – Mapa com a localização da fábrica de pellets a implementar. [48].....	58
Figura 26 – Caracterização da ocupação territorial dos concelhos em Portugal, com destaque para o distrito de Aveiro. [49]	59
Figura 27 – Esquema das diferentes etapas para a produção de pellets.....	65
Figura 28 – Comparação entre os volumes ocupados pelos resíduos florestais, estilhas de madeira e troncos de árvores. [55].....	68
Figura 29 – Secção da ferramenta de cálculo referente à análise dos custos de matéria-prima.....	77
Figura 30 - Secção da ferramenta de cálculo referente à análise dos custos de funcionamento e à escolha da capacidade de produção.....	78
Figura 31 - Secção da ferramenta de cálculo referente ao plano de vendas.	79

Índice de tabelas

Tabela 1 – Apresentação das características definidas pelas normas para pellets. [6][7][8]	20
Tabela 2 – Comparação de pellets com outras fontes de biomassa sólida. [6][7][8].....	22
Tabela 3 – Principais características de diferentes estilhaçadores. [14][15].....	26
Tabela 4 – Principais características de moinhos existentes no mercado. [15][18][19][20].....	28
Tabela 5 – Principais características de secadores rotativos existentes no mercado. [15].....	29
Tabela 6 – Principais características de diferentes secadores de leito fluidizado. [16]	29
Tabela 7 - Principais características de peletizadoras existentes no mercado. [15][19][20][21]	32
Tabela 8 – Principais características de arrefecedores existentes no mercado. [15][19]	33
Tabela 9 – Principais características de algumas peneiras vibratórias. [20][24][25].....	34
Tabela 10 – Principais características de queimadores de pellets existentes no mercado. [31][32][33][34] ...	40
Tabela 11 – Disponibilidade potencial de biomassa florestal [37]	46
Tabela 12 – Distribuição dos resíduos de madeira em Portugal por subsector. [38]	46
Tabela 13 - Superfície florestal segundo a espécie em Portugal. [40]	48
Tabela 14 – Utilização do solo no distrito de Aveiro [41].....	49
Tabela 15 – Quantidade de resíduos no sector da madeira e do mobiliário em Aveiro.....	51
Tabela 16 – Utilização do solo no distrito de Coimbra [41].....	51
Tabela 17 - Quantidade de resíduos no sector da madeira e do mobiliário em Coimbra.....	52
Tabela 18 – Utilização do solo no distrito de Viseu [41]	53
Tabela 19 - Quantidade de resíduos no sector da madeira e do mobiliário em Aveiro	54
Tabela 20 – Total de resíduos provenientes da floresta e da indústria da madeira.	55
Tabela 21 – Edifícios com potencial para consumo de pellets no distrito de Aveiro e Coimbra. [51]	62
Tabela 22 – Consumo de gasóleo de aquecimento e de gás natural nos distritos de Aveiro e Coimbra. [52][53].....	63
Tabela 23 – Estimativa do consumo anual de pellets considerando a conquista de uma quota de mercado ao gás natural e gasóleo de aquecimento.....	64
Tabela 24 – Estimativa do custo de colheita florestal da matéria-prima. [55][57][62]	67
Tabela 25 – Estimativa dos custos de transporte de matéria-prima. [56][57][58][59]	68
Tabela 26 – Estimativa do custo de estilhaçamento dos resíduos de biomassa florestal. [14][57][61][62].....	69
Tabela 27 – Estimativa para a distribuição de pellets em sacos. [59][64][68]	74
Tabela 28 - Estimativa dos custos de distribuição com camião cisterna. [58][59][65]	75
Tabela 29 – Estrutura de custos e consumos médios associados à produção de pellets	84
Tabela 30 – Período de retorno de investimento em função do preço da matéria-prima e do custo de transporte na sua forma primária	85
Tabela 31 - Período de retorno de investimento em função do preço da matéria-prima e do custo de transporte em forma de estilha.	86
Tabela 32 – Plano de investimento necessário para as várias capacidades de produção. [13][21][67][66][68]	88
Tabela 33 – Custos de produção para as várias capacidades de produção.....	90
Tabela 34 – Margem de lucro e preços de venda para as várias capacidades de produção.	91
Tabela 35 – Indicadores económicos de viabilidade, VAL, TIR e PRI.....	92
Tabela 36 - Indicadores económicos de viabilidade, VAL, TIR e PRI com um investimento 20% mais elevado.	93

Índice de gráficos

Gráfico 1 – Proveniência do consumo energético na União Europeia. [4].....	19
Gráfico 2 - Comparação da quantidade de resíduos por sector em Aveiro, Coimbra e Viseu.....	54
Gráfico 3 - Disponibilidade de resíduos de biomassa em Aveiro, Coimbra e Viseu.....	57
Gráfico 4 – População Residente no Distrito de Aveiro distribuída por concelhos. [51].....	61
Gráfico 5 - População Residente no Distrito de Coimbra distribuída por concelhos. [51].....	62
Gráfico 6 - Evolução dos custos da matéria-prima na sua forma primária com a distância de recolha.....	70
Gráfico 7 - Evolução dos custos da matéria-prima em forma de estilha com a distância de recolha.	71
Gráfico 8 – Evolução dos custos de distribuição de pellets em sacos com a distância percorrida.	74
Gráfico 9 – Evolução dos custos de distribuição de pellets em camião cisterna com a distância percorrida. .	76
Gráfico 10 – Comparação entre os diferentes tipos de energia tendo em conta o seu custo por unidade de energia.	94
Gráfico 11 - Comparação do encargo anual em energia com a amortização do investimento inicial.	95

Nomenclatura

PCI	Poder Calorífico Inferior	[MJ/kg]
$m_{res_eucalipto}$	Quantidade de resíduos de ramos e topos de eucalipto	[kg verdes/árvore]
DAP	Diâmetro à altura do peito	[cm]
SI	Índice de qualidade do solo	
T	Idade da árvore quando abatida	[Anos]
m_{res_casca}	Quantidade de resíduos de casca de eucalipto	[kg verdes/árvore]
$m_{res_pinheiro}$	Quantidade de resíduos de pinheiro	[kg verdes/árvore]
VAL	Valor Actual Liquido	[€]
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade	[%]
PRI	Período de Retorno de Investimento	[Anos]
F_t	Fluxos monetários líquidos	[€]
d_t	Taxa de actualização	[%]
d'	Taxa de rentabilidade	[%]
n	Número de anos em estudo	[Anos]

1 Introdução

A valorização dos recursos energéticos endógenos, particularmente os de cariz renovável, constitui um dos principais objectivos da política energética portuguesa com o objectivo de minimizar a dependência energética e diminuir a emissão de poluentes. A par disso verifica-se actualmente uma crescente subida do preço dos combustíveis fósseis. Neste prisma, a utilização energética da biomassa para a produção de calor e energia eléctrica é um tema pleno de actualidade e em franco desenvolvimento. A par dos grandes investimentos a realizar num curto horizonte temporal, associados à utilização da biomassa para a produção de energia eléctrica, também a produção de calor poderá utilizar este recurso. No entanto, quer do ponto de vista da satisfação dos interesses dos consumidores, quer do ponto de vista da eficiência energética, a utilização de equipamentos convencionais para a produção de calor (lareiras e fornalhas a lenha) não corresponde às actuais necessidades.

Assim, a transformação de biomassa num recurso de fácil e cómoda utilização deve ser considerado como pressuposto essencial a uma eventual disseminação da biomassa como um combustível viável.

A mobilização das novas tecnologias de transformação de lenhas, resíduos lenhosos, industriais e agrícolas num produto final de fácil manuseamento, transporte, armazenamento e utilização, como é o caso dos pellets, constitui um factor fundamental para a disseminação da utilização da biomassa como alternativa aos combustíveis fósseis (gás e derivados do petróleo).

No entanto, a adopção destas tecnologias carece ainda de análise profunda, particularmente em termos de viabilidade económica, e também pela procura acrescida de matéria-prima pelas centrais de biomassa para a produção de energia eléctrica.

2 Objectivos

Os objectivos da presente dissertação assentam na análise da utilização de biomassa para a produção de pellets e a criação de uma ferramenta de análise e projecto de unidades de produção. O presente trabalho tem também como finalidade a análise de implementação de uma unidade de produção de pellets a ser viabilizada num dado contexto geográfico (localização, dimensão do mercado e disponibilidade de matéria-prima). Assim, o presente trabalho integra:

- a definição das características do produto com base em normas internacionais que definem os critérios de qualidade a adoptar;
- o levantamento do estado actual dos recursos de biomassa em Portugal e a definição das zonas com maior capacidade de produção;
- a quantificação da disponibilidade de matéria-prima numa zona delimitada de Portugal;
- a identificação das tecnologias de processamento industrial existentes e a sua caracterização técnica;
- o levantamento das tecnologias existentes para a produção de pellets e especificação dos seus elementos constituintes;
- a identificação das tecnologias existentes de queimadores de pellets e sua utilização;
- a definição de uma zona delimitada de Portugal com bons indicadores de viabilidade para a implementação de uma fábrica de produção de pellets.
- a obtenção da disponibilidade de resíduos de biomassa nesse contexto geográfico;
- a definição do mercado (doméstico, industrial, serviços, etc.) e a sua dimensão;
- a definição das necessidades de matéria-prima e da sua natureza (resíduos lenhosos, plantações energéticas, resíduos agrícolas, resíduos industriais, etc.);
- a quantificação e especificação do investimento requerido;
- a estimativa dos custos de operação e a sua desagregação (matérias-primas, operação e manutenção, mão-de-obra, etc.);
- o estudo de viabilidade económica da instalação;
- a análise dos custos de utilização de pellets para o consumidor e comparação com outros combustíveis;
- o desenvolvimento de uma ferramenta de análise e projecto de unidades de produção de pellets. A ferramenta deve permitir analisar os custos e tarefas associados à obtenção de matéria-prima, à produção de pellets e à sua distribuição, além disso, deve permitir realizar o estudo de viabilidade económica das respectivas unidades;

3 Metodologia

A realização da presente dissertação passou pela análise da utilização de resíduos de biomassa para a produção de pellets e pelo desenvolvimento de uma ferramenta de projecto e análise de unidades de produção. Todo o trabalho desenvolvido passou pela consulta de material bibliográfico, de documentos técnicos, comerciais e estatísticos e pela obtenção de dados junto de empresas e entidades. Assim, efectuou-se a definição e caracterização da biomassa e sua proveniência, e pelo levantamento do estado actual da sua utilização. Procedeu-se à obtenção das características que os pellets devem seguir, com base em normas internacionais. A inventariação das tecnologias e equipamentos existentes para a produção de pellets. Assim como, das tecnologias e equipamentos existentes de queimadores de pellets, de modos de armazenamento de pellets e sua distribuição. Foi realizada a inventariação dos recursos de biomassa em Portugal e a identificação das zonas com maior capacidade de produção. Elaborou-se um estudo dos custos de recolha de resíduos de biomassa florestal e industrial. Foram também analisados os custos de distribuição de pellets. Posteriormente, perante a selecção de uma zona delimitada de Portugal, para a implementação de uma fábrica de produção de pellets, realizou-se um estudo sobre a disponibilidade de resíduos de biomassa aí existentes. Na zona seleccionada, foi também efectuado o levantamento da população residente, dos principais edifícios públicos e dos consumos energéticos aí verificados. Assim, elaborou-se uma análise do potencial mercado consumidor de pellets. Procedeu-se então ao desenvolvimento de uma ferramenta de análise e projecto, que permite analisar todos os custos associados à obtenção de matéria-prima, aos custos de produção e de distribuição de pellets. Além disso permitirá efectuar a análise económica e financeira de unidades de produção de pellets. Seguidamente foram analisados todos os custos associados à produção de pellets e o investimento requerido para implementação de unidades de produção e analisados vários casos de viabilidade. Foi ainda considerado um caso de estudo se implementação de uma unidade de produção de pellets, em que foram consideradas diferentes capacidades de produção e turnos de funcionamento. E efectuada a análise financeira e económica de implementação da fábrica de produção de pellets e comparados os diferentes casos de estudo. Foi ainda realizada uma análise dos custos de utilização de pellets para o consumidor e efectuada a comparação entre outros combustíveis.

4 Estado da arte

4.1 Biomassa

A biomassa é uma fonte de produção de energia renovável, podendo esta ser utilizada para a produção de energia eléctrica, térmica ou mecânica. A biomassa é toda a matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser explorada para a produção de energia. A gama de produtos utilizáveis para este fim é muito variada podendo ser provenientes dos produtos e subprodutos da floresta, resíduos da indústria da madeira, culturas e resíduos da actividade agrícola, indústrias agro-pecuárias, agro-alimentares e resíduos urbanos. A energia proveniente da biomassa está disponível no mercado, em todos os tipos de formas, nomeadamente no estado sólido, líquido e gasoso. A maior fonte de biomassa sólida provém da madeira, nomeadamente, do aproveitamento dos seus resíduos. Estes são obtidos quando é retirada a lenha das florestas e dos desperdícios provenientes do processamento industrial de produtos de madeira. Em muitos locais, outros subprodutos, nomeadamente a palha são usados para produzir energia, a partir da biomassa. Na forma líquida, existem já várias fontes de biocombustíveis, tecnicamente equivalentes aos combustíveis fósseis, nomeadamente, o etanol e o metanol. De longe, as colheitas para fins energéticos mais comuns são a colza e o girassol, cujo óleo é usado quer na sua forma natural, quer como biodiesel. Na forma gasosa existem também actualmente biocombustíveis, resultado da conversão da biomassa natural. Por um lado, por processos microbiológicos, tal como a fermentação anaeróbia para a produção de metano e, por outro lado, através da conversão termoquímica da biomassa sólida em processos de gaseificação. [1]

Com a ratificação do Protocolo de Quioto assumiu-se o compromisso da redução de emissão dos gases geradores do efeito de estufa. Neste campo, a biomassa assume um papel muito importante para cumprir esse acordo, ganhando mais ênfase quando substituto de combustíveis fósseis, pois a renovação da biomassa dá-se através do ciclo de carbono, processo que utiliza a radiação solar como fonte de energia. Deste modo, durante a sua combustão é libertado dióxido de carbono na atmosfera, dióxido de carbono esse que foi anteriormente absorvido pela biomassa durante o seu tempo de vida.

A nível nacional o cenário da utilização de biomassa para produção de electricidade corresponde a 4% do total de energia eléctrica consumida em Portugal que corresponde a $623,8 \times 10^3$ tep. Do ponto de vista das energias renováveis corresponde a 13,1 % da electricidade produzida a partir de fontes renováveis, relativamente à produção de energia térmica a biomassa contribui com $1\,555,6 \times 10^3$ tep. [2]

A União Europeia cobre actualmente 4% das suas necessidades energéticas a partir da biomassa. Se utilizasse totalmente o seu potencial, poderia mais do que duplicar a utilização da biomassa até 2010 (de 69×10^6 tep em 2003 para cerca de 185×10^6 tep em 2010) [3], sem deixar de respeitar as boas práticas agrícolas, de salvaguardar a produção sustentável de biomassa e não afectando de forma significativa a produção interna de

produtos alimentares. A adesão da Bulgária e da Roménia irá melhorar a situação da disponibilidade e as possibilidades de importação oferecem um potencial ainda maior. [3] No Gráfico 1 pode visualizar-se a proveniência da energia consumida na União Europeia.

A Comissão Europeia considera que as medidas previstas no Plano de acção Biomassa poderão levar a um aumento da utilização de biomassa até cerca de 150×10^6 tep em 2010 ou pouco depois dessa data. Este valor é inferior ao potencial total, mas é conforme com os objectivos indicativos para as energias renováveis. [3]

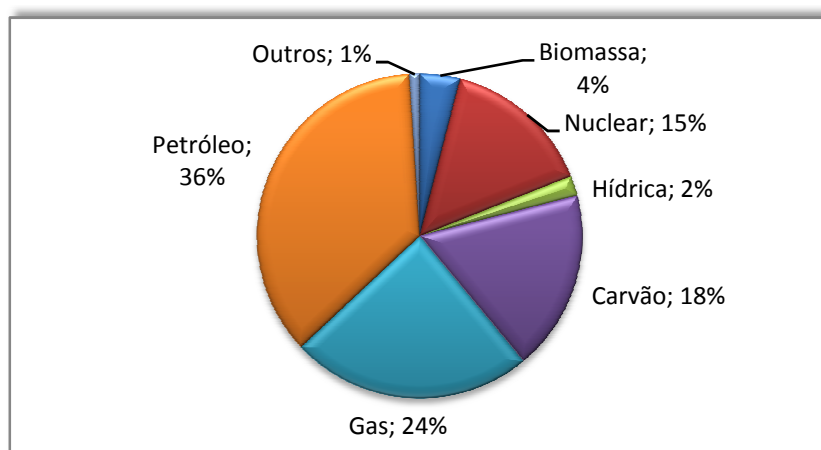


Gráfico 1 – Proveniência do consumo energético na União Europeia. [4]

Os avanços tecnológicos e a reputação da biomassa como portadora de energia renovável universal estão a levar a uma avaliação mais exacta do seu potencial. De referir, que para além dos efeitos ambientais positivos, existem também diversos aspectos económicos e sociais envolvidos, nomeadamente a criação de postos de trabalho resultantes da colheita, tratamento e transporte da biomassa. A longo prazo, por cada Gigawatt-hora gerado, a bioenergia poderá permitir a geração de 1,75 novos empregos, surgindo como fonte de criação de uma rede de emprego significativa, contribuindo nomeadamente para o desenvolvimento sustentável de áreas rurais na União Europeia e na maior parte dos outros países. [1]

4.2 Pellets

Os pellets são granulados de biomassa prensada com uma forma cilíndrica de diâmetros compreendidos entre 4 e 10 milímetros e um comprimento variável nunca superior a cinco vezes o seu diâmetro. A sua densidade deve ser superior a $1,10 \text{ kg/dm}^3$ e devem conter um teor de humidade bastante baixo, menor que 12%. [6][7] Na Figura 1 visualizar-se a forma dos pellets de biomassa.



Figura 1 – Pellets de biomassa.

Em alguns países já existem normas que regulamentam as propriedades dos pellets, nomeadamente, na Alemanha (DIN 51 731), Áustria (ÖNorm M 7135) e Suécia (SS 18 71 20). As características específicas destas normas podem ser tomadas como referência para a produção de pellets em Portugal, de forma a obter-se um produto com boa qualidade. As normas são apresentadas na Tabela 1. [6][7][8]

Tabela 1 – Apresentação das características definidas pelas normas para pellets. [6][7][8]

	DIN 51 731	ÖNorm M 7135	SS 18 71 20
Diâmetro	De 4 a 10 mm	De 4 a 10 mm	De 4 a 6 mm
Comprimento	< 50 mm	< 5*D ¹	Variável
Densidade	1,0 - 1,4 kg / dm ³	> 1,12 kg / dm ³	> 0,5 kg / dm ³
Humidade	< 12 %	< 10 %	< 12 %
Cinza	< 1,50 %	< 0,5 %	< 1,50 %
PCI	17,5 - 19,5 MJ/kg	> 18 MJ/kg	> 16,9 MJ/kg
Enxofre	< 0,08 %	< 0,04 %	< 0,08 %
Azoto	< 0,3 %	< 0,3 %	--
Cloro	< 0,03 %	< 0,02 %	< 0,03 %

¹ Menos que 20% dos pellets serão maiores 7.5 x Diâmetro

A elevada densidade dos pellets e a baixa humidade permite que tenham um elevado poder calorífico. Podem ser produzidos com recurso a várias fontes de matéria-prima tais como resíduos de limpeza de matas e da exploração florestal, desperdícios da indústria da madeira e resíduos agrícolas. Desta forma são aproveitados resíduos que

normalmente não são utilizados ou devidamente valorizados. No entanto, também se pode proceder à produção de biomassa dedicada exclusivamente para este fim, como por exemplo árvores de rápido crescimento.

A produção de pellets passa por alguns processos, a saber: os resíduos devem ser triturados formando pequenas lascas, de seguida devem ser secas de modo a conter um teor muito baixo de humidade, depois as lascas devem ser moídas formando um serrim bastante fino, por sua vez o serrim é prensado em máquinas indicadas para o efeito a que se dá o nome de peletizadoras de modo a obter a sua forma pretendida e no final deve-se acondicionar convenientemente.

Deste modo advêm várias vantagens provenientes da utilização de pellets quando comparados com outros combustíveis, dos quais se pode destacar:

- **Os pellets de madeira são o combustível sólido mais limpo.** Devido às caldeiras de combustão altamente eficientes desenvolvidas ao longo dos últimos anos, a emissão de compostos químicos, como óxidos de nitrogénio (NOx), ou compostos orgânicos voláteis, é muito reduzida, o que torna os pellets uma das formas de aquecimento menos poluentes disponíveis actualmente no mercado. [10]
- **A combustão é muito mais eficiente e liberta muito menos fumo que a lenha normal.** Isto é devido ao baixo teor de humidade dos pellets, resultado do tratamento efectuado na transformação de pellets.
- **O seu tamanho reduzido permite dosear unidade a unidade a quantidade que vai ser queimada para produção de energia.**
- **Uma tonelada de pellets de madeira produz sensivelmente a mesma energia que uma tonelada e meia de madeira.** Assim sendo, os pellets de madeira ocupam muito menos espaço de armazenamento e de transporte. [10]
- **Redução da dependência energética em relação aos combustíveis fósseis** como o gás e o petróleo representa um ponto muito importante, devido ao crescente aumento dos preços destes combustíveis e à diminuição das suas reservas.
- **A matéria-prima para a produção de pellets apresenta uma grande disponibilidade e versatilidade.** A matéria-prima pode ser proveniente de diversas fontes, pode provir de resíduos florestais, industriais ou agrícolas e de plantações dedicadas.
- **Redução dos riscos de incêndios florestais.** Como uma das fontes de matéria-prima para a produção de pellets é os resíduos provenientes da limpeza das florestas, este factor contribui significativamente para a redução do risco de incêndios.

- **Preços mais atractivos quando comparados com outros combustíveis.** O uso de resíduos florestais e também dos desperdícios provenientes da indústria da madeira permite a obtenção da matéria-prima a baixos custos.
- **O transporte e armazenamento de pellets são tarefas muito mais simples,** devido à sua grande densidade e ao baixo risco de inflamação.

Deste modo os pellets representam uma boa alternativa como fonte de energia, apresentando diversas vantagens relativamente aos combustíveis fósseis. Combustíveis esses que se apresentam hoje em dia muito instáveis relativamente ao seu preço, com tendência de aumentos sucessivos. Este factor, aliado a políticas de incentivo ao consumo de energias limpas e à procura da independência dos combustíveis fósseis, são razões para a crescente utilização de fontes energéticas alternativas.

Na Tabela 2 é apresentada uma comparação entre as diferentes formas de biomassa sólida.

Tabela 2 – Comparação de pellets com outras fontes de biomassa sólida. [6][7][8]

	Pellets	Briquetes	Carvão Vegetal	Estilha	Lenha
Comprimento (<i>mm</i>)	< 50	< 500	< 120	< 70	--
Diâmetro/ Largura (<i>mm</i>)	4 - 10	80 - 90	< 40	< 50	--
Densidade (kg/m ³)	1 - 1,4	1 – 1,4	0,34	0,25 – 0,35	0,3 - 4
PCI (MJ/kg)	17,5 - 19,5	17,5 - 19,5	33	10	10,3
Teor de humidade (%)	< 12	< 12	5	40 %	40%
Cinzas (%)	< 1,5	< 1,5	4	5	5
Custo (€/kWh)	0,036	0,036	0,070	0,020	0,023

Relativamente a incentivos fiscais, existem actualmente benefícios na aquisição de novos equipamentos de energias renováveis, quer para particulares, quer para empresas. No entanto, os pellets estão ainda sujeitos a IVA à taxa máxima actualmente em vigor, 20%, ao contrário de outras fontes de energias como a electricidade e o gás natural que estão sujeitos a uma taxa de 5% e alguns combustíveis fósseis que estão sujeitos a uma taxa intermédia de 12%. [12] Não havendo razões para a diferença verificada, uma correcção da taxa aplicada sobre os pellets tornará ainda mais vantajosa a sua utilização.

4.3 Definição das etapas necessárias para a produção de pellets

A produção de pellets é constituída por um conjunto de actividades, as quais se podem agrupar em três etapas principais: recolha de matéria-prima, processamento e comercialização do produto final. A matéria-prima pode ser proveniente de diversas fontes, resíduos florestais, industriais, agrícolas e plantações florestais de rápido crescimento. No entanto, no presente trabalho dar-se-á maior ênfase à matéria-prima proveniente de resíduos florestais e industriais. A segunda etapa de processamento da matéria-prima é efectuada na linha de produção onde a biomassa é preparada, transformada em pellets sendo estes posteriormente embalados ou armazenados em silos. A última etapa passa pela venda e distribuição de pellets. A venda pellets pode ser efectuada para o mercado interno ou pode proceder-se à sua exportação. Distribuição esta que é efectuada em sacos ou através de camião cisterna. Na Figura 2 está representado um esquema do processo de produção de pellets.

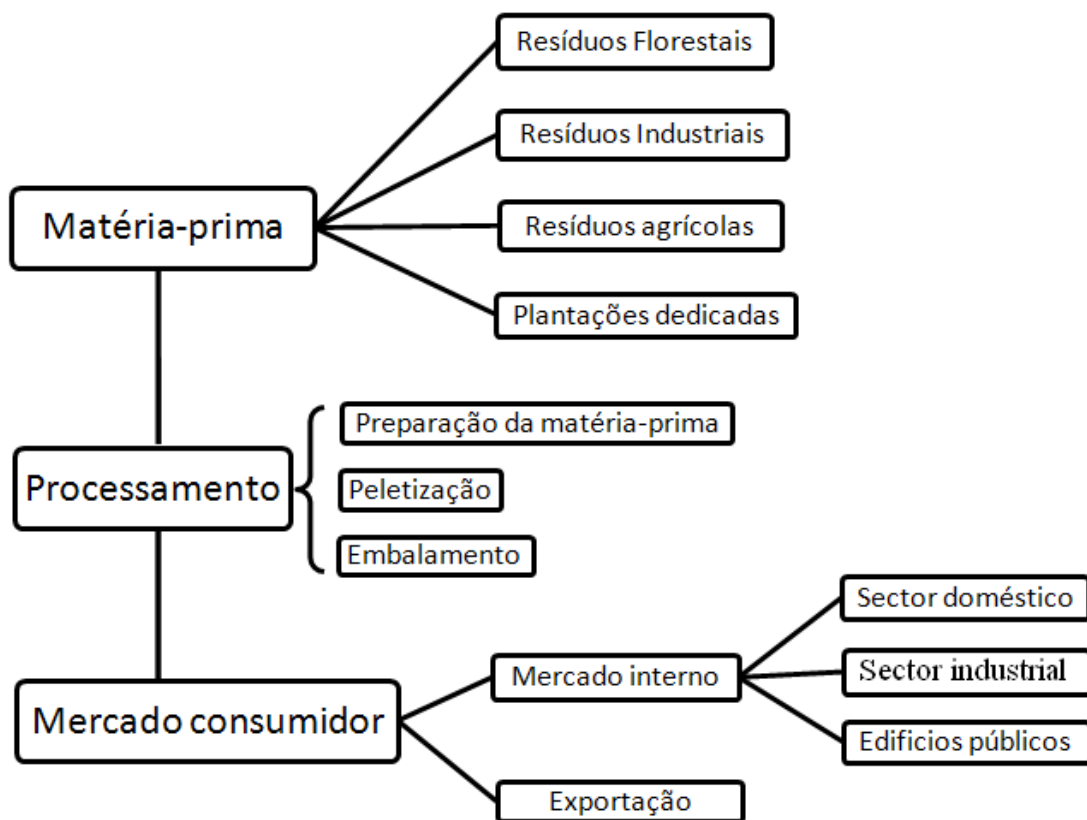


Figura 2 – Esquema das etapas para a produção de pellets

5 Inventariação de recursos

5.1 Recursos tecnológicos

5.1.1 Equipamentos para conversão de biomassa em pellets

Para a produção de pellets os resíduos de biomassa que servem como matéria-prima necessitam de ser tratados numa linha de produção de pellets. Uma linha de produção de pellets é constituída por vários componentes conectados entre si de modo a obter um ciclo de produção. Uma linha de produção de pellets pode ser dividida em várias secções, e de acordo com as necessidades do produtor, toda a linha de produção pode ser automatizada ou apenas parte das diferentes secções (Figura 3).



Figura 3 – Esquema com as várias secções de funcionamento de uma linha de produção de pellets.

Deste modo, os equipamentos necessários para cada secção devem ser criteriosamente escolhidos de acordo com a matéria-prima a processar, a capacidade de produção e de modo que se consiga obter uma boa qualidade do produto final. Assim, são descritos neste item os principais componentes constituintes de uma linha de produção.

5.1.1.1 Linha de produção de pellets

Seguidamente, é apresentado um exemplo de uma linha de produção de pellets. O esquema apresentado na Figura 4 corresponde a uma linha de produção com capacidade para produzir 1 ton/hora. Esta linha é composta por três silos de armazenamento, um moinho de martelos, uma caldeira de produção de calor, um secador, um recuperador, uma peletizadora, um arrefecedor, uma máquina de embalagem, seis transportadores e uma sala de controlo.

O processo de produção é iniciado com um silo com solo correção onde são depositados os resíduos de biomassa já com um tamanho reduzido, em forma de lascas. De seguida a biomassa é transportada para o moinho de martelos, onde é transformada num

serrim fino. O processo subsequente é a secagem, onde o calor é assegurado por uma caldeira. A biomassa prossegue para um novo silo e de seguida é transportada para uma peletizadora onde se formam os pellets. Posteriormente, segue para um arrefecedor onde os pellets são secos, arrefecidos e limpos e, por fim, é efectuado o processo de embalamento.

Para o processamento de uma maior quantidade de pellets as linhas de produção devem ser adaptadas para o efeito utilizando componentes de maior capacidade ou aumentando o número de unidades dos componentes.

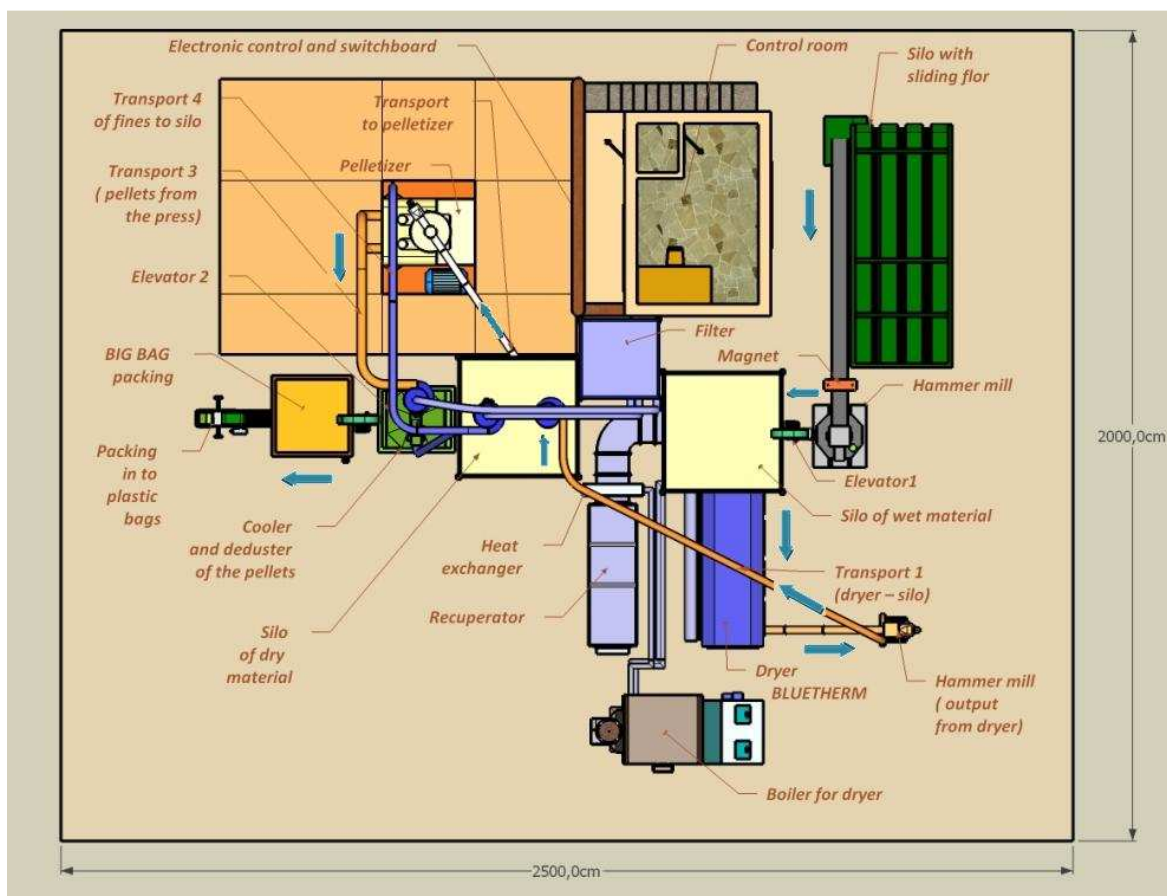


Figura 4 - Constituição de uma linha de produção de pellets com a capacidade de produção de uma tonelada por hora e indicação do fluxo do material. [13]

5.1.1.2 Estilhaçadores

Tendo em conta que a matéria-prima para a produção de pellets é proveniente de várias fontes, tais como: resíduos de limpeza de matas, exploração florestal, desperdícios da indústria da madeira e resíduos agrícolas, há necessidade de reduzir o seu tamanho para uma maior eficiência e facilidade de processamento. Os estilhaçadores são equipamentos para esse efeito que transformam os resíduos em pequenas lascas, como se pode ver na Figura 5. Consistem geralmente numa boca de alimentação onde é introduzido o material,

que pode ser manipulado por um aparelho mecânico, um sistema de trituração e um sistema de descarga para as lascas resultantes. O sistema de trituração é composto por componentes de estilhaçamento que podem ser constituídos por discos ou tambores rotativos, por dispositivos semelhantes com ferramentas de corte ou por mecanismos em parafuso que executam esta operação.



Figura 5 – Estilhaçador série PTLM da LIPPEL. [14]

Estes dispositivos têm uma grande versatilidade podendo ser instalados junto com a linha de produção de pellets, assim como podem ser deslocados para junto das fontes de matéria-prima, nomeadamente para a floresta, efectuando desta forma a trituração na própria fonte podendo desta forma facilitar e reduzir custos de transporte.

Na Tabela 3, apresentam-se as principais características de alguns estilhaçadores existentes no mercado.

Tabela 3 – Principais características de diferentes estilhaçadores. [14][15]

Modelo do estilhaçador	Tipo de Estilhaçador	Produção (Ton / hora)	Potência (kW)	Dimensão da matéria-prima (mm)
LIPPEL RT	Facas	0,2 – 2	7,5 - 55	< 50
LIPPEL PTL	Tambor	5 – 55	22 - 368	< 50
GENCO Drum Chipper BX	Tambor	2,0 – 3,0	30 - 55	26 - 35
PALLMANN - PHT	Tambor	3 - 132	37 - 1600	--

5.1.1.3 Peneiradores

A limpeza dos resíduos de biomassa é um processo que se reflecte directamente na qualidade do produto final acabado e na conservação dos componentes da linha de

produção. As peneiras permitem a eliminação de produtos indesejados como pedras, cimentos ou objectos metálicos. Podem ser centrífugos, rotativos ou vibratórios. Para a eliminação de materiais metálicos devem também ser utilizados componentes electromagnéticos.

5.1.1.4 Moinhos

Este equipamento é utilizado para a moagem da matéria de biomassa transformando-a num serrim fino, facilitando desta forma, o posterior processo de peletização (Figura 6).



Figura 6 – Moinhos de martelos da Calibras. [17]

Os moinhos de martelos consistem basicamente num rotor formado por vários discos acoplados a um eixo que por sua vez, os discos são interligados por pinos e estes suportam os martelos. Lateralmente, o rotor é envolvido por telas perfuradas que têm o diâmetro dos seus furos determinados de acordo com a necessidade de granulação do produto a ser moído. O processo inicia-se com a entrada da biomassa na câmara do rotor onde se dá o primeiro contacto com os martelos. Ao receber o impacto, as partículas de biomassa são lançadas contra as telas e essa sequência continua até que as partículas estejam reduzidas a um tamanho que permita a sua passagem através dos furos da tela. [17]

Os moinhos de facas são também muito utilizados no processo de moagem para produção de serrim fino (Figura 7).

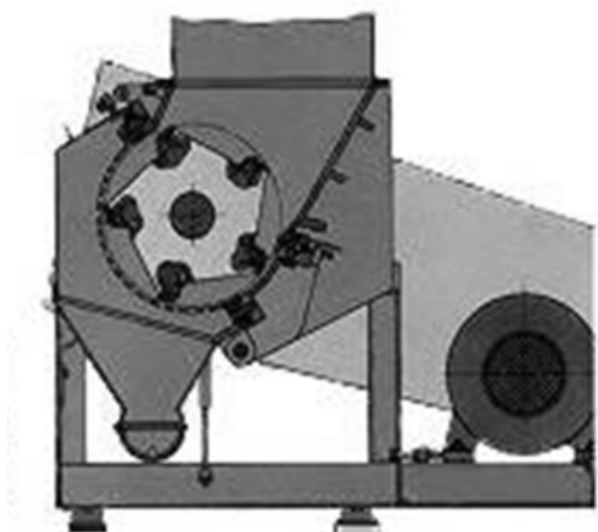


Figura 7 – Esquema de funcionamento de um moinho de facas. [18]

Tabela 4 – Principais características de moinhos existentes no mercado. [15][18][19][20]

Modelo do moinho	Tipo de moinho	Capacidade (Ton / hora)	Potência (kW)	Comprimento da matéria-prima (mm)
LA MECCANICA MM	Martelos	16 - 55	75 - 200	< 0,5
Genco Energy	Martelos	1 - 50	18,5 - 200	0,5 - 1
PALLMANN	Impacto	15 - 80	250 - 800	< 0,5
BLISS - Eliminator	Martelos	--	7,5 - 447	< 0,5

5.1.1.5 Secadores

No processo de produção de pellets há a necessidade de reduzir a humidade existente nos resíduos de biomassa para uma humidade de cerca de 10%. Para tal são utilizados secadores que podem ser de vários tipos: de leito fluidizado, rotativos, ciclónicos ou de esteira. No entanto, os secadores mais utilizados são os de leito fluidizado e os rotativos. Os de leito fluidizado caracterizam-se pela passagem de gases quentes uniformemente por entre uma camada de produto a secar que se encontra depositado no leito da câmara de secagem. O ar quente passa a grande velocidade o que provoca a secagem e a constante mistura dos resíduos. Os secadores rotativos (Figura 8) são secadores constituídos por um tambor horizontal ou ligeiramente inclinado que gira em torno de um eixo longitudinal. Dentro do tambor são montados vários tipos de pás para a mistura dos resíduos de biomassa favorecendo, desta forma, a sua secagem e para que os façam avançar até à boca de saída. Os gases quentes são introduzidos directamente no

tambor rotativo e circulam em sentido contrário ao dos resíduos, proporcionando uma secagem eficaz e uniforme.



Figura 8 – Secador rotativo. [14]

Tabela 5 – Principais características de secadores rotativos existentes no mercado. [15]

Modelo do secador	Tipo de secador	Capacidade (Ton / hora)	Potência (kW)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Rotação (rpm)
WPL – HZG6	Rotativo	0,5 – 3	3 – 5,5	600	4,5,6,7,8	3 - 20
WPL – HZG15	Rotativo	3 – 5,5	11 - 15	1500	8,10,12,14,16,18	3 - 20
WPL – HZG24	Rotativo	7 - 15	22 - 30	2400	12,14,16,18,20,22,24	3 - 20

Tabela 6 – Principais características de diferentes secadores de leito fluidizado. [16]

Características / Modelos	M & S - IR11	M & S - UR9	M & S - BR18
Potência térmica (kW)	16	24 - 30	50
Superfície radiante (m ²)	3,59	5,51	11,08
Potência eléctrica instalada (kW)	0,05	0,05	0,18
Peso (kg)	78	124	246
Dimensões (m)	11,9x0,7x0,6	9,6x0,7x0,6	19,2x0,7x0,6

5.1.1.6 Peletizadoras

O processo de peletização efectuado pelas peletizadoras são uma parte muito importante na linha de produção de pellets, trata-se portanto de um processo em que as

partículas de biomassa anteriormente trituradas, o serrim, são prensadas e desta forma obrigadas a aglomerar-se formando os pellets. É de salientar que a aglomeração das partículas de biomassa em forma de pellets é tanto melhor quanto mais finas forem as suas partículas. Partículas de maior dimensão dificultam o processo de peletização e facilitam a fractura dos pellets.

Na Figura 9 e na Figura 11 pode visualizar-se o esquema de funcionamento de duas peletizadoras com modo de funcionamento diferente. Sendo a primeira uma peletizadora com matriz plana e a segunda uma peletizadora com matriz anelar.



Figura 9 – Esquema de funcionamento de uma peletizadora de matriz plana KAHL Pelleting Presses [21]

Normalmente as peletizadoras com matriz plana usam dois ou três rolos compressores dentro da câmara de peletização, acoplados a um eixo vertical rolando sobre uma matriz circular plana. As partículas de biomassa são prensadas pelos rolos contra a matriz formando assim os pellets. As peletizadoras com matriz anelar são compostas por dois ou três rolos e uma matriz em forma de anel. A matriz tem movimento de rotação em torno de um eixo horizontal rodando acoplada aos rolos que estão no seu interior, as partículas de biomassa são inseridas no seu interior e assim prensadas entre os rolos e a matriz formando os pellets.

Estes rolos têm uma capacidade de resistência para suportar os esforços de compressão, têm também uma superfície que proporciona uma máxima compressão sem

haver escorregamento e estão munidos com rolamentos devidamente protegidos de modo que não entrem resíduos para o seu interior.



Figura 10 – Matriz anelar de peletizadora. [22]

A matriz é o coração na operação de peletização. O serrim ao ser comprimido contra a matriz com o auxílio dos rolos passa pelos orifícios existentes na matriz. Seguidamente o material é cortado por meio de facas, formando os pellets. Na Figura 10 pode observar-se a forma que a biomassa adquire à saída da matriz. Desta forma as especificações e geometria da matriz devem ser baseadas nas exigências de produção, a qualidade e dureza dos pellets dependem das relações das áreas de compressão, da espessura efectiva e do diâmetro dos furos da matriz.

O processo de peletização obriga a que a humidade contida nas partículas de biomassa seja baixa, pois não é possível obter uma densificação coesa de resíduos com um elevado grau de humidade. Por outro lado, o baixo grau de humidade das partículas de biomassa provoca um aumento do atrito no processo de peletização. Deste modo, durante o processo de produção é inserido na câmara de peletização vapor de água. O vapor de água actua uniformemente sobre as partículas de biomassa e irá funcionar como lubrificante no processo de peletização.

Durante o processo de peletização o calor gerado devido ao atrito e o vapor de água inserido na câmara da peletizadora actuam sobre as resinas existentes na biomassa, funcionando estas como um aglomerante natural.

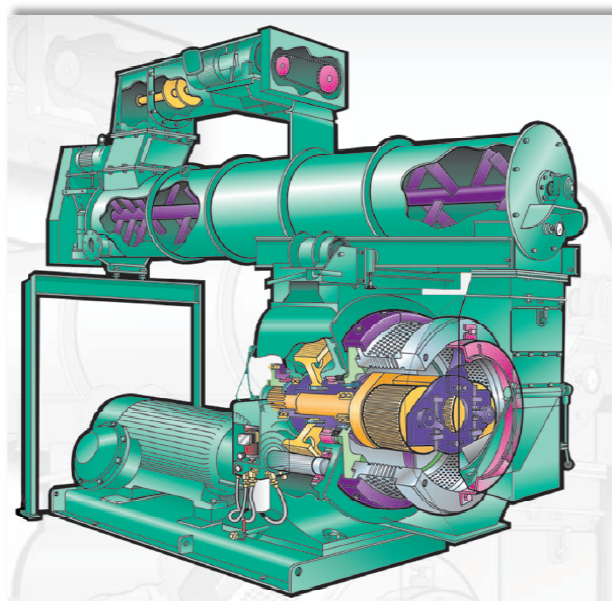


Figura 11 – Esquema de funcionamento de uma peletizadora com matriz anelar modelo 9700 Wood Pellet Mill [23]

Tabela 7 - Principais características de peletizadoras existentes no mercado. [15][19][20][21]

Modelo da peletizadora	Capacidade (Ton / hora)	Potência (kW)	Diâmetro dos rolos (mm)	Diâmetro da matriz (mm)	Número de rolos
KAHL flat die	0,3 - 8	3 - 400	130 - 450	175 - 1250	3
BLISS - PIONEER	0,3 - 6	60 - 227	200 - 400	450 - 884	2 - 3
GENCO – GC - MZLH	0,2 - 3	15 - 160	--	250 - 508	2 - 3
La Meccanica-CLM	0,6 - 3	90 - 280	96 - 395	200 - 800	2

5.1.1.7 Arrefecedores

Após o processo de peletização os pellets encontram-se a uma temperatura elevada e contêm um teor de humidade de cerca de 15%. Por essa razão há necessidade de baixar a temperatura e diminuir a quantidade de humidade para cerca de 8%, para tal são utilizados os arrefecedores. Os arrefecedores horizontais têm normalmente uma maior capacidade que os verticais e funcionam com a passagem de um fluxo de ar através de uma cama de pellets que é transportada por tapetes perfurados. Estes arrefecedores podem ter um ou dois tapetes transportadores com simples ou dupla passagem. Os arrefecedores verticais caracterizam-se por requerer uma menor área para a sua instalação, o seu funcionamento é também caracterizado por um fluxo de ar que passa através de uma cama de pellets. Na Figura 12 visualiza-se um exemplo de um arrefecedor vertical.



Figura 12 – Arrefecedor vertical de pellets modelo SLNF Wood Pellet Mill [23]

Na Tabela 8 são apresentados alguns exemplos de arrefecedores e as suas principais características.

Tabela 8 – Principais características de arrefecedores existentes no mercado. [15][19]

Modelo	Tipo de arrefecedor	Capacidade (Ton / hora)	Potência (kW)	Temperatura (°C)
GENCO Counterflow Cooler SLNF	Vertical	3 - 30	1,5 – 5,2	T_{ambiente}
GENCO Crumbler SSLG	Vertical	2 - 25	1 – 22	T_{ambiente}
BLISS - RBR	Vertical	4,13 – 69,28	1 – 1,5	T_{ambiente}

5.1.1.8 Peneiras vibratórias

As peneiras vibratórias funcionam com um movimento oscilante e são responsáveis por classificar os pellets de acordo com o tamanho desejado ou apenas separar as partículas mais finas de modo a que estas voltem a ser novamente processadas. Estes equipamentos possuem telas internas que podem ser adaptadas e trocadas conforme as preferências do produtor ou as necessidades e características do produto. Na Figura 13 visualiza-se um exemplo de uma peneira vibratória.



Figura 13 – Peneira plana vibratória. [17]

Tabela 9 – Principais características de algumas peneiras vibratórias. [20][24][25]

Modelo	Capacidade (Ton / hora)	Potência (kW)	Movimento (mm)	Número de telas	Peso (ton)
METSO - CBS	--	22 – 2x30	6 - 14	2 - 3	0,5 – 21,7
La Meccanica- Sifter	5 – 30	0.8 – 1,2	--	3	--
PRICEMAQ – PVI-AP	--	4 – 2x23	2,7 - 7	2 - 3	1- 19

5.1.1.9 Transportadores

Durante todo o processo de produção de pellets uma importante tarefa é o transporte do material entre os diferentes equipamentos constituintes da linha de produção. Para isso, são utilizados diferentes tipos de transportadores dependendo das exigências nas passagens entre os componentes. Podendo operar horizontalmente, em declive ou verticalmente transportando o material para um nível superior. As esteiras transportadoras exercem a função do transporte de material e podem ser utilizadas na horizontal ou com alguma inclinação, podendo ter diferentes secções em função da disposição dos rolos de sustentação e do tipo de material a transportar. Estes equipamentos podem ainda ser combinados com outros tipos de transportadores podendo assim construir diferentes linhas de transporte. As esteiras transportadoras são constituídas por uma estrutura com cabeceiras localizadas nas extremidades nas quais estão montados tambores que mantêm uma lona esticada e em movimento. A tracção geralmente situa-se numa das cabeceiras com a transmissão do movimento composta por corrente e pinhões, ou mediante um motor instalado na parte superior da cabeceira. As lonas normalmente são construídas em lona sintética com revestimento de borracha podendo ser lisas ou com saliências para evitar o

escorregamento. Na Figura 14 pode visualizar-se um exemplo de uma esteira transportadora.



Figura 14 – Esteira transportadora. [23]

Para o transporte de material horizontalmente e em planos inclinados são também utilizados transportadores em parafuso, Figura 15. Trata-se simplesmente de um tubo com uma rosca no seu interior onde uma das extremidades é mergulhada no material a transportar. Com a rotação da rosca o material entra para os espaços vazios da rosca e é transportado por arraste até à outra extremidade. Este equipamento é utilizado principalmente em planos com grande inclinação.



Figura 15 – Representação de um transportador em parafuso horizontal. [26]

Para o transporte vertical são utilizados elevadores transportadores. Este equipamento consiste numa série de pequenos baldes acoplados a uma lona ou a uma corrente que transportam o material para um nível superior. O funcionamento destes elevadores seguem o mesmo princípio que as esteiras transportadoras, são portanto equipamentos de fácil construção e são dimensionados de acordo com as especificações do produto a transportar, (Figura 16).



Figura 16 – Elevador transportador. [23]

5.1.1.10 Silos

Na linha de produção de pellets há necessidade do armazenamento da matéria-prima. Em algumas passagens entre equipamentos assim como no armazenamento do produto final, são utilizados silos que têm a capacidade de manter o material seco de modo a evitar a sua degradação. Estes silos podem ser equipados com descarga automatizada de forma rápida e sistema de ventilação.



Figura 17 – Silo de armazenamento. [27]

5.1.2 Balança de embalagem de pellets

Depois de todos os processos anteriormente descritos os pellets, necessitam de ser acondicionados para proceder à sua distribuição. Para pequenas utilizações os pellets são acondicionados em sacos com peso normalmente compreendido entre 10 e 40 kg. Para grandes utilizações podem ser utilizados veículos distribuidores, ou sacos de maior dimensão. Para essa operação são utilizadas balanças de embalagem, que têm a capacidade de dosear e empacotar convenientemente os pellets. Na Figura 18 é apresentado um exemplo de uma balança de embalagem.



Figura 18 – Balança de embalagem de pellets.[15]

As balanças de embalagem têm a capacidade de funcionamento automático, de pesagem e empacotamento dos pellets. No seu modo de funcionamento a alimentação é efectuada pela parte superior da balança através de uma esteira. Por sua vez, o produto é inserido automaticamente em sacos, sendo a dosagem efectuada através de uma válvula de descarga. Normalmente quando os sacos se aproximam do seu limite de peso, a válvula de enchimento reduz o fluxo de material até que se atinja o peso pré-estabelecido, sendo o fluxo cortado instantaneamente. Deste modo, é garantido o peso exacto pré-estabelecido. Os sacos vazios para o enchimento são colocados automaticamente e encerrados depois do processo de enchimento, igualmente de modo automático.

5.1.3 Queimadores de pellets

Existe hoje em dia no mercado uma grande oferta de queimadores de pellets para a produção de energia térmica que apresentam uma boa eficiência energética, (até 94%), com capacidade de arranque automático. Sempre que haja a necessidade de produção de calor podem ser utilizados estes queimadores, nomeadamente, para aquecimento central e produção de água quente, podendo ser utilizados tanto em edifícios públicos como domésticos. Podem também, ser utilizados em estufas agrícolas ou industriais, sendo possível ainda, a utilização de pellets em sistemas de arrefecimento.

Para utilização doméstica, os fornos e as salamandras com alimentação a pellets apresentam-se como uma excelente alternativa em comparação com outros sistemas. Os fornos de pellets são utilizados principalmente no aquecimento de espaços de habitação. As salamandras permitem igualmente produzir calor para aquecimento e produção de água quente. É de salientar que são totalmente livres de fumos ou odores no interior das residências. Estes aparelhos são de fácil instalação apenas necessitando de uma ligação a uma chaminé por meio de uma conduta, de uma entrada para o armazenamento de pellets e de um compartimento amovível para a deposição das cinzas resultantes da combustão. Na Figura 19 pode visualizar-se o esquema de um forno a pellets. Estes fornos possuem um largo compartimento de armazenamento de pellets, que os torna bastante autónomos. Todo o sistema de alimentação para proceder à combustão é efectuado automaticamente.

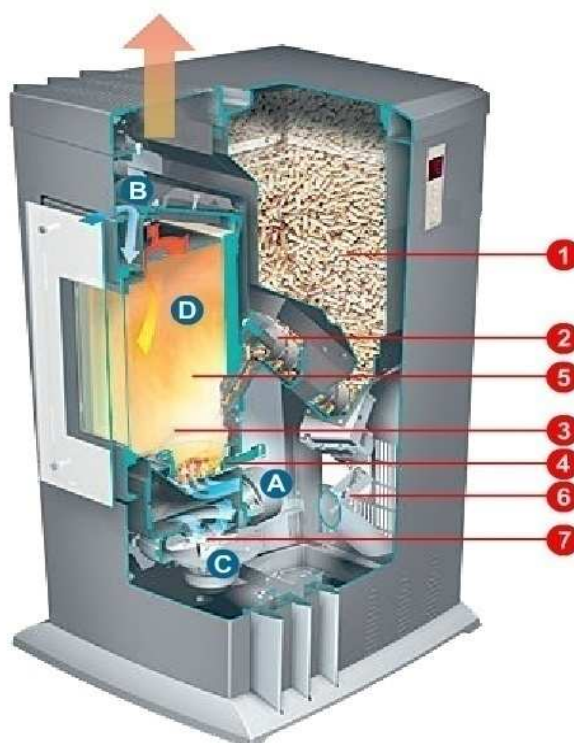


Figura 19 - Esquema de funcionamento de um forno a pellets. 1 – Compartimento para armazenamento de pellets, 2 – Sistema transportador, 3 – Zona de combustão, 4 – Ignição, 5 – Câmara de combustão, 6 – Sensor de volume de ar, 7 – Ventoinha para fumo. [29]

Os queimadores de pellets são aplicações de lareira que são dimensionados de acordo com o volume de ar a aquecer. Se estiverem equipadas com uma entrada de ar externa separada, devendo existir uma proporção equilibrada entre o tamanho da divisão e a saída de calor da câmara de combustão. Geralmente por cada kW de saída de calor é necessário um volume de pelo menos 4 m³. Este valor não deve ser reduzido, por questões de segurança. O fornecimento de ar é geralmente produzido usando um ventilador silencioso de velocidade variável. Em relação à manutenção, este tipo de equipamentos implica alguns cuidados de manutenção, nomeadamente, a limpeza dos resíduos da combustão e remoção das cinzas. No entanto, os pellets produzem uma quantidade de cinza muito baixa, sendo menor que 1,5% da massa de pellets.

Para necessidades de calor mais elevadas, como no aquecimento de espaços e fornecimento de água quente para grandes edifícios ou em utilizações industriais, são utilizadas caldeiras alimentadas a pellets. Estas caldeiras são instaladas fora dos espaços habitacionais, normalmente, em divisões separadas. Estas caldeiras têm um funcionamento extremamente silencioso, funcionando de forma similar aos sistemas de aquecimento que utilizam combustíveis fósseis como gasóleo de aquecimento ou gás natural. Na Figura 20 é apresentado o exemplo de funcionamento de uma caldeira a pellets.



Figura 20 – Esquema de funcionamento de uma caldeira a pellets. [30]

Relativamente ao armazenamento dos pellets, estes são armazenados em reservatórios de grande dimensão permitindo assim o funcionamento contínuo das

caldeiras. Estes reservatórios podem localizar-se junto à caldeira ou em divisões perto desta, sendo a alimentação efectuada por meio de um transportador em parafuso que leva os pellets até à área de combustão.

As tecnologias actualmente existentes nos queimadores de pellets tornam estes equipamentos uma solução eficaz na produção de calor, sendo estes aparelhos de fácil instalação, eficientes, limpos e extremamente seguros. Existem porém diferenças significativas entre os diversos equipamentos existentes actualmente no mercado, o seu modo de funcionamento e a diversidade de modelos. As várias potências disponíveis permitem a sua instalação e adaptação a diversos ambientes e necessidades.

Tabela 10 – Principais características de queimadores de pellets existentes no mercado. [31][32][33][34]

Modelo	ECOFORST - VIGO	Thermorossi - ECOTHERM	Biotech	KOB- PYRTEC
Tipo de queimador	Forno Interior	Forno Interior	Caldeira	Caldeira
Depósito	Incorporado	Incorporado	Exterior	Exterior
Potência para aquecimento (kW)	5 - 12	16 - 25	--	--
Potência para água (kW)	--	3,1 - 28	35	30 - 1250
Rendimento (%)	80 - 85	87,7 - 93	92 - 94	90 - 92
Capacidade do depósito (kg)	13 - 40	45 - 63	120	--
Consumo de pellets (kg/hora)	0,5 - 2,0	0,8 - 6,4	0,4 - 6,5	5,5 - 250
Autonomia (horas)	9 - 44	9,5 - 53	--	--
Ventilação forçada	Sim	Sim	Sim	Sim
Peso (kg)	78 - 189	206 - 265	245 - 430	1895 - 13809
Preço s/IVA (€)	1990 - 3890	3790 - 4610	8200	--

5.1.4 Armazenamento e distribuição de pellets

A selecção do sistema de armazenamento condiciona directamente a escolha do sistema de transporte e de entrega do combustível. Para pequenas utilizações onde o armazenamento de pellets está incorporado no próprio queimador, a distribuição é normalmente efectuada em sacos com peso compreendido entre 10 e 40 kg.

Para utilizações de maior dimensão há essencialmente três possibilidades diferentes para armazenar pellets: silos de sacos, depósitos de pellets e tanques de armazenagem subterrâneos. Quanto à alimentação existem três sistemas de extracção diferentes; extracção por transportador, extracção por vácuo e extracção estática. Todos os sistemas

descritos são capazes de assegurar a extracção de pellets do respectivo sistema de armazenamento sem problemas. As várias combinações destes processos são, contudo, desenvolvidas para diferentes áreas de aplicação.

Os silos de sacos consistem num tecido artificial resistente, que é pendurado como uma tenda dentro de uma estrutura estável em aço. Os silos são completamente fechados e na parte frontal está acoplado um tubo que está ligado à estrutura de suporte. O orifício das pellets da cisterna está ligado a esta estrutura, o que permite que o silo seja preenchido através de um camião de pellets convencional. O material do tecido do silo de pellets tem a característica de ser permeável ao ar, mas à prova de pó, não requerendo estes silos um tubo de exaustão separado. Na Figura 21 pode visualizar-se um silo de saco e o sistema de abastecimento que pode também ser utilizado nos outros sistemas de armazenamento. [1]



Figura 21 – Transferência de pellets de um camião cisterna para um silo de saco. [1]

Os depósitos de pellets consistem numa divisão de um edifício especialmente equipada para o efeito. A divisão de armazenamento deve ter pavimentos inclinados, para permitir que seja completamente esvaziada pelo sistema de extracção usado. As paredes circundantes devem ser capazes de suportar as cargas impostas pelas pellets, devem conter também um tapete de protecção de impacto que é desenhado para proteger a destruição dos pellets durante o processo de abastecimento e um sistema de enchimento.

Os tanques de armazenamento subterrâneo são feitos de betão ou plástico e são enterrados a uma distância de cerca de um metro da parede do edifício. Os tanques de armazenamento de pellets feitos de betão são enterrados permanentemente em solo húmido. Portanto, apenas podem ser usados os contentores feitos de betão resistente à

água. Na Figura 22 encontra-se representado um esquema de um tanque de armazenamento subterrâneo. [1]



Figura 22 – Esquema de um tanque de armazenamento subterrâneo. [1]

5.2 *Inventariação de matéria-prima*

5.2.1 **Distribuição e composição da floresta em Portugal**

Neste item é efectuado o levantamento do estado actual dos recursos de biomassa em Portugal e a definição das zonas com maior capacidade de produção.

Em Portugal, a floresta ocupa actualmente 3,4 milhões hectares de terreno representando 37,4% da área total do país, sendo o pinheiro bravo, o eucalipto e o sobreiro as principais espécies dominantes. [40] A floresta portuguesa representa hoje em dia uma grande fonte de riqueza, tendo um desempenho muito importante não só na produção lenhosa, madeira, cortiça e resinas mas também na produção de outros produtos como frutos, plantas aromáticas, pastagens entre outros. Além disso, representa um papel significativo noutros valores de uso indirecto, destacando-se: a protecção do solo, a conservação de recursos hídricos e a absorção de carbono, entre outros valores. A floresta portuguesa tem características de um sector competitivo, é um suporte para a criação de emprego e apresenta uma diversidade de actividades, algumas das quais importantes em regiões economicamente desfavorecidas.

Em Portugal o principal recurso de biomassa é a floresta, a qual representa cerca de um terço de todo o território nacional, constituindo assim um importante recurso o qual

deve ser analisado e sujeito a uma gestão sustentável no sentido de se aproveitar convenientemente os resíduos aí produzidos, promovendo sempre a conservação da sua biodiversidade.

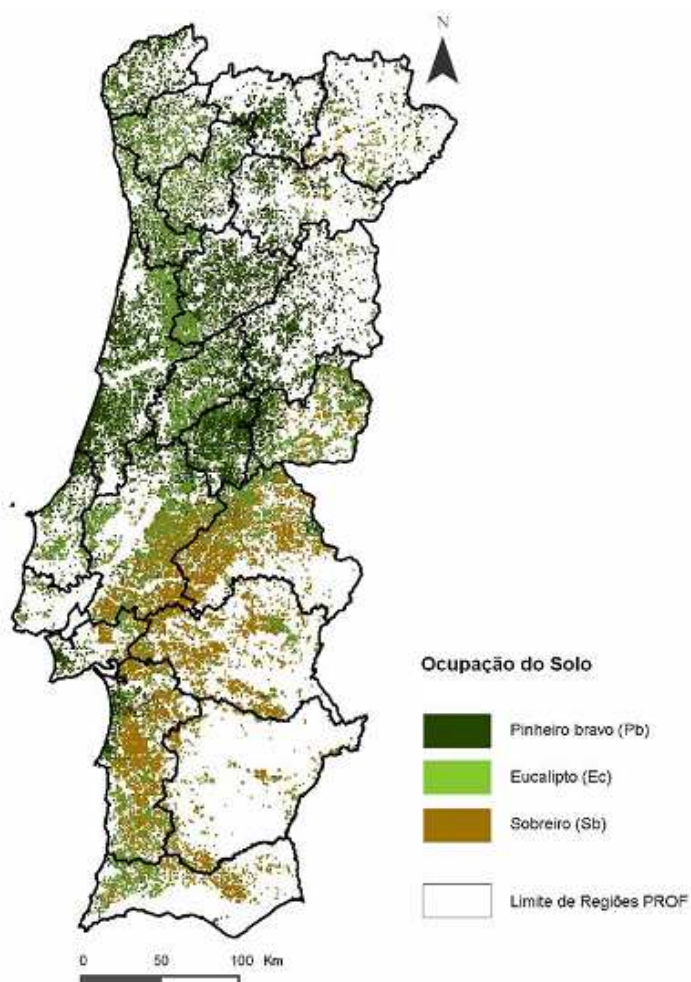


Figura 23 – Distribuição no território nacional das diferentes espécies. [36]

Na Figura 23 pode observar-se a distribuição das principais espécies existentes em Portugal continental, sendo possível notar uma grande densidade de pinheiro bravo que se encontra na região central do país; o eucalipto distribui-se pela zona centro e norte do país, estando presente predominantemente no litoral. A região a sul do Tejo é essencialmente povoada por sobreiros e azinheira.

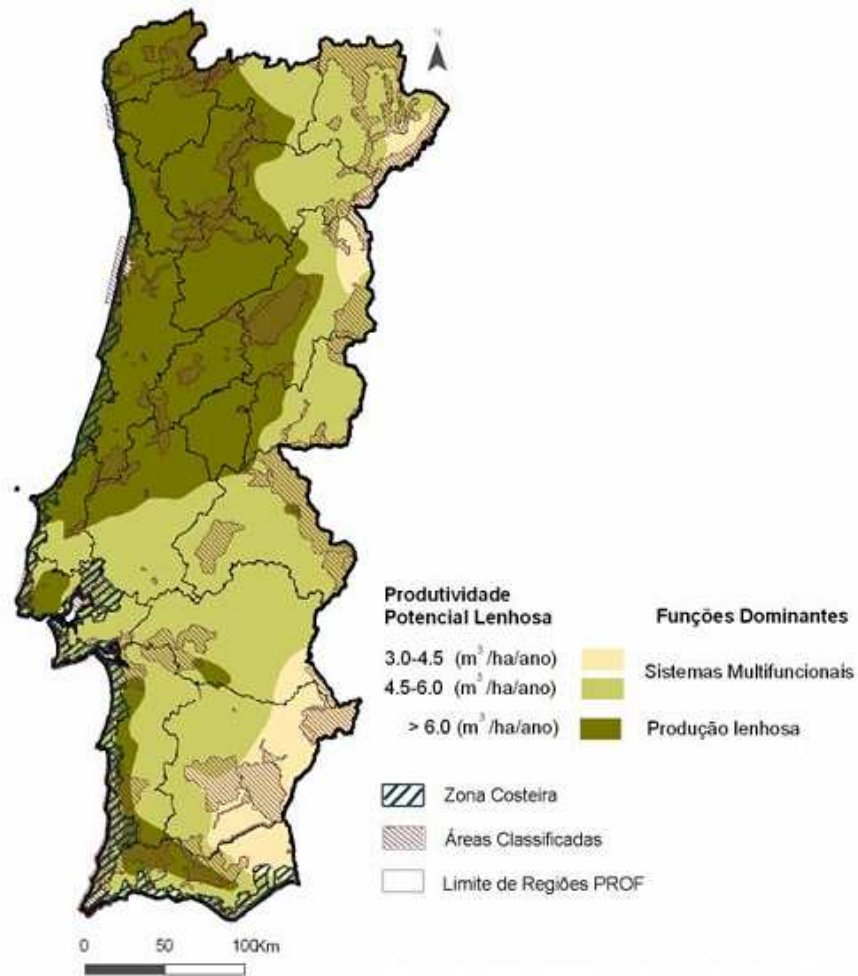


Figura 24 – Macrozonagem das funções dominantes do espaço florestal estabelecidas em função das produtividades potenciais lenhosas. [36]

As áreas denominadas como de produtividade potencial lenhosa são representadas na Figura 24. Estas áreas são definidas de modo a maximizar o valor económico total da floresta. Desta forma devem utilizar-se as espécies e os sistemas que maior riqueza social permita gerar em cada hectare de terreno. Verifica-se então que a zona denominada como de produção lenhosa se encontra predominantemente no centro e no norte do país, não incluindo a zona interior, com uma capacidade de produção superior a $6 \text{ m}^3/\text{ha/ano}$. As intervenções a efectuar devem ter como principal objectivo o aumento da competitividade na área da silvicultura, incrementando a produtividade lenhosa aproveitando assim o seu máximo potencial embora respeitando as condicionantes ambientais. Outras espécies de árvores deverão também desempenhar um importante papel na estratégia de enriquecimento e aumento da competitividade do sector florestal nestas áreas. As restantes zonas são denominadas por sistemas multifuncionais que correspondem a zonas de produtividade potencial lenhosa baixa, variando entre 3 e $6 \text{ m}^3/\text{ha/ano}$. [36]

5.2.2 Resíduos de biomassa para a produção de pellets

Os resíduos de biomassa existentes em Portugal são um recurso renovável que tem uma grande capacidade de contribuição para a produção de energia, sendo neste momento um recurso já aproveitado para esse fim. Em alguns sectores, ainda não se atingiu a sua total integração como matéria-prima industrial. No contexto do aproveitamento de resíduos de biomassa a produção lenhosa com susceptível potencial para aumentar a produção de energia provém da exploração florestal, das indústrias transformadoras de madeira e da exploração agrícola.

5.2.3 Resíduos florestais

Os resíduos florestais representam um recurso com muitas potencialidades. Estes recursos encontram-se em abundância nas florestas portuguesas e podem ser aproveitados para fins energéticos. Assim, das zonas florestais podem ser extraídos diversos resíduos de biomassa tais como resíduos provenientes da exploração de madeira, destacando-se os ramos, os topos das árvores e a casca provenientes do descasque dos troncos que muitas das vezes são também deixados na floresta são também incluídos nos resíduos florestais produtos como arbustos e matos.

O aproveitamento destes recursos para fins energéticos é não só uma oportunidade de negócio, como permite a criação de emprego, de que é exemplo a actual política da defesa da floresta contra incêndios, com relevância para a importância da limpeza das florestas, sustentando desta forma um mercado para a exploração da biomassa florestal.

Relativamente à sua utilização, a biomassa florestal como fonte de produção de calor é hoje em dia utilizada maioritariamente na indústria que aumentou a sua utilização na última década ao contrário do sector doméstico que tem vindo a reduzir a sua utilização. Isto justifica-se pelo crescente desenvolvimento industrial canalizando estes resíduos para as unidades industriais como fonte de energia, e pela substituição da biomassa por outros tipos de energia a nível doméstico.

Na Tabela 11 sintetizam-se as quantidades de biomassa florestal disponível de acordo com a sua proveniência. Estes valores foram obtidos segundo a informação disponível, [37] no entanto, os valores reais se pensa serem superiores.

Tabela 11 – Disponibilidade potencial de biomassa florestal [37]

Tipos de resíduos	Quantidade (10 ⁶ ton/ano)
Matos	0,6
Biomassa proveniente de áreas ardidas	0,4
Ramos e bicadas	1,0
Total	2,0

5.2.4 Resíduos industriais

Em diversos sectores da indústria nomeadamente da madeira e do mobiliário, da pasta do papel e da cortiça é gerada uma grande quantidade de resíduos que em muitos dos casos não são devidamente aproveitados para outras utilizações.

O sector da madeira e do mobiliário inclui uma série de actividades nas quais se inclui o mobiliário, carpintaria, painéis folheados, parquetaria, impregnação e serração. Os resíduos provenientes destas operações são essencialmente resíduos de madeira sendo na sua maioria serradura ou serrim, pó de madeira e aparas de madeira. Uma das características deste sector industrial é a predominância de pequenas e médias empresas, onde existem muitas unidades de carácter familiar, sendo em muitas destas empresas a mão-de-obra pouco qualificada. Na Tabela 12 pode observar-se a quantidade de resíduos de madeira produzidos por cada subsector em Portugal.

Tabela 12 – Distribuição dos resíduos de madeira em Portugal por subsector. [38]

Subsector	Quantidade anual (Ton secas)	Distribuição percentual dos resíduos (%)
Serração	178 023	29,7
Impregnação	842	0,1
Painéis folheados	112 941	18,8
Parquetaria	70 720	11,8
Carpintaria	144 364	24,0
Mobiliário	93 384	15,6
Total	600 274	100

No sector da indústria da cortiça, de uma forma geral, o principal resíduo produzido é o pó de cortiça; este resíduo é proveniente essencialmente das operações de granulação da cortiça e das operações de rectificação e acabamento. No entanto, grande parte destes resíduos são aproveitados pela própria indústria, quer para a reintegração no processo de fabrico, quer para a queima nas caldeiras das próprias empresas corticeiras.

A indústria de produção de papel e cartão representa um grande consumidor de madeira mas dadas as características dos processos produtivos este sector apresenta uma fraca produção de resíduos.

5.2.5 Resíduos agrícolas

No sector agrícola existem resíduos que podem ser aproveitados para a produção de energia, nomeadamente para a produção de pellets. Durante o processo de produção de culturas agrícolas são produzidos resíduos que na maioria dos casos não são valorizados. Deste modo pode mencionar-se alguns resíduos agrícolas susceptíveis de aproveitamento tais como, resíduos provenientes das podas como sejam podas de vinhas, olivais e árvores de fruto, resíduos que resultam da produção de azeite, como bagaço de azeitona e o caroço. Podem ser também aproveitados resíduos resultantes da produção de cereais, tais como palhas e caules entre outros.

Os resíduos provenientes das actividades agrícolas têm um forte potencial de utilização para a produção de pellets, reduzindo desta forma a dependência dos resíduos anteriormente referidos. No entanto, a sua baixa densidade, dificuldades na sua recolha e a incerteza na quantificação dos resíduos disponíveis, são factores negativos nesta abordagem. Além disso, é necessário ter em consideração alguns problemas técnicos na sua transformação. A biomassa deve ser limpa, sem a presença de terras ou outros elementos que possam danificar os componentes de produção. Pellets resultantes de resíduos agrícolas têm maiores emissões de poluentes, e produzem mais cinza que pellets resultantes de resíduos florestais ou industriais. [39]

6 Disponibilidade de biomassa para a produção de pellets

6.1 Escolha da zona de estudo para implementação da fábrica de produção de pellets

Para a implementação da fábrica de produção pellets de modo a efectuar um estudo mais aprofundado e preciso, a zona de estudo é restringida aos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu. A escolha destes distritos é efectuada depois de uma análise geral da situação actual do país. Para a escolha foi considerada a produtividade e as várias espécies constituintes da floresta, nomeadamente, do eucalipto e do pinheiro que são grandes produtores de resíduos de biomassa. A escolha teve ainda em atenção, a distribuição no território português dos já existentes e previstos consumidores de resíduos de biomassa e os potenciais consumidores de pellets tendo em conta a densidade populacional.

6.2 Estimativa da disponibilidade de resíduos de biomassa nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu

Neste capítulo vai proceder-se à determinação da quantidade de resíduos disponíveis para a produção de pellets nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu. Na presente análise são considerados resíduos provenientes da exploração florestal, nomeadamente os ramos e os topos das árvores que resultam da exploração do eucalipto e do pinheiro bravo que são as duas espécies dominantes nestes distritos. A área que as principais espécies ocupam a nível nacional então representadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Superfície florestal segundo a espécie em Portugal. [40]

Espécies	Pinheiro Bravo (10 ³ ha)	Pinheiro Manso (10 ³ ha)	Eucalipto (10 ³ ha)	Sobreiro (10 ³ ha)	Carvalho (10 ³ ha)
Portugal	710,6	83,9	646,7	736,7	117,9
Continente	710,6	83,9	646,7	736,7	117,9
Norte	192,6	0,3	121,9	10,0	71,3
Centro	409,7	1,5	258,4	15,2	40,8
Lisboa e Vale do Tejo	66,5	24,7	144,6	155,9	1,6
Alentejo	38,0	51,5	108,1	527,2	4,2
Algarve	3,6	6,0	13,8	28,4	0,1

São também analisados os resíduos provenientes do sector industrial da madeira e mobiliário; neste sector estão incluídas as seguintes actividades: carpintaria, mobiliário, serração, painéis folheados e parquetaria. Os sectores da cortiça e da pasta do papel não serão considerados devido ao quase total aproveitamento dos resíduos de biomassa gerados nestes sectores industriais. Deste modo, a análise a desenvolver será efectuada tendo em conta a área total ocupada por floresta, dando atenção às espécies de árvores que povoam a respectiva floresta e a densidade florestal. Para a estimativa dos resíduos provenientes do sector da madeira e mobiliário será efectuada um cálculo em função do número de estabelecimentos existentes no distrito e o total de resíduos gerados em Portugal. Os valores apresentados em toneladas secas são calculados para uma humidade de 8%, ou seja, os resíduos de biomassa apresentados em toneladas secas contêm uma humidade de 8% que é aproximadamente a quantidade de humidade que os pellets devem conter, encontrando-se de acordo com as normas europeias existentes.

6.2.1 Potencial existente de resíduos de biomassa

6.2.1.1 Distrito de Aveiro

Para a análise da quantidade de resíduos gerados no distrito de Aveiro em que a área ocupada pela floresta corresponde a 135 991 há, (Tabela 14). Essa área de floresta é composta principalmente por pinheiro bravo (37 420 ha) e eucalipto (99 016 ha).[40] Os valores da incerteza apresentados na tabela correspondem ao grau de imprecisão associado à obtenção dos valores apresentados. [40]

Tabela 14 – Utilização do solo no distrito de Aveiro [41]

USO DO SOLO	ÁREA (ha)	INCERTEZA (%)
Floresta	135.991	3
Incultos	28.262	9
Improdutivos	2.185	34
Agricultura	81.911	5
Social	20.073	11
Águas interiores	11.826	15

6.2.1.1.1 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo eucalipto

A quantidade de eucalipto existente em Aveiro corresponde a 64,3 % da área total da floresta neste distrito tendo uma densidade média de 553 árvores/ha (média nacional de acordo com a composição da floresta). [40]

Para proceder à presente estimativa calcula-se a massa dos ramos e do topo que cada árvore gera através da equação 1. [43]

$$m_{res_eucalipto} = 0,1785 * DAP^{1,756} \quad (1)$$

Onde $m_{res_eucalipto}$ é a massa dos ramos e do topo do eucalipto em kg verdes / árvore com uma humidade de 53 % e DAP corresponde ao diâmetro à altura do peito medido a 1,30 m acima do solo em cm, este valor é calculado através da equação 2, onde T corresponde à idade da árvore quando abatida e SI é o índice de qualidade do solo, que para uma boa qualidade do solo é igual a 2. [42]

$$DAP = 20,320 + 0,290 * T - 3,911 * SI \quad (2)$$

Tendo em conta que grande parte das vezes as cascas provenientes do tronco dos eucaliptos são deixados na floresta, considera-se que 60% desses resíduos se encontram disponíveis. Calcula-se através da equação 3 a massa proveniente do descasque dos troncos, m_{res_casca} em kg verdes/ árvore com uma humidade de 58 %. [43]

$$m_{res_casca} = 0,01432 * DAP^{2.798} * 0,6 \quad (3)$$

Deste modo a partir da quantidade de resíduos do eucalipto, da sua densidade florestal e sabendo que o eucalipto é em média abatido ao fim de 10 anos de vida obteve-se para o distrito de Aveiro uma quantidade de resíduos de 217 380 ton verdes /ano que corresponde a 151 634 ton secas / ano.

6.2.1.1.2 Estimativa da quantidade resíduos gerados pelo pinheiro bravo

A quantidade de pinheiro bravo existente em Aveiro ocupa 24,3 % da área total da floresta neste distrito tendo uma densidade média de 452 árvores/ha.

$$m_{res_pinheiro} = 0,463 * DAP^{1,604} \quad (4)$$

Pela equação 4 calcula-se $m_{res_pinheiro}$ que é a massa dos ramos e do topo provenientes do pinheiro bravo em kg verdes / árvore com uma humidade de 59 % [43] onde DAP corresponde ao diâmetro à altura do peito medido a 1,30 m acima do solo em cm, este valor é calculado através da equação 2.

Os resultados obtidos para os resíduos resultantes do pinheiro bravo tendo em conta a sua densidade florestal e sabendo que em média o pinheiro bravo é abatido ao fim de 39 anos de vida, obteve-se um total de 32 136 ton verdes / ano que corresponde a 21 800 ton secas / ano.

6.2.1.1.3 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pela indústria da madeira e do mobiliário

Para a estimativa dos resíduos que resultam das indústrias do sector da madeira e do mobiliário, são considerados como valores base os valores obtidos por um estudo realizado pela Agência Portuguesa do Ambiente/ INETI a nível nacional.[38] Desta forma, sabendo a quantidade de resíduos gerados a nível nacional, estimaram-se a quantidade de resíduos para o distrito de Aveiro com base no número de empresas existentes e o número de pessoas ao serviço neste distrito, (Tabela 15).

Tabela 15 – Quantidade de resíduos no sector da madeira e do mobiliário em Aveiro

Fonte de matéria-prima	Quantidade de resíduos (ton secas/ano)
Serração	4272,6
Mobiliário	2241,2
Painéis folheados	2710,6
Carpintaria	3464,7
Parquetaria	1697,3
Total	14386,4

6.2.1.2 Distrito de Coimbra

No distrito de Coimbra em que a área ocupada pela floresta corresponde a 205 128 ha a estimativa da quantidade de resíduos gerados, é a constante da Tabela 16. A floresta é ocupada essencialmente por pinheiro bravo (102 729 há) e eucalipto (75 324 há). [40]

Tabela 16 – Utilização do solo no distrito de Coimbra [41]

USO DO SOLO	ÁREA (ha)	INCERTEZA (%)
Floresta	205.128	2
Incultos	74.696	5
Improdutivos	2.608	32
Agricultura	95.479	5
Social	14.289	13
Águas interiores	4.986	23

6.2.1.2.1 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo eucalipto

A quantidade de eucalipto existente em Coimbra corresponde a 34,0% da área total da floresta.

Para a presente estimativa calcula-se a massa dos ramos e do topo que cada árvore gera, utilizando-se a equação 1 para o seu cálculo. Assim, obtêm-se a partir da quantidade de resíduos do eucalipto, da sua densidade florestal e tendo em conta que o eucalipto é em média abatido ao fim de 10 anos de vida obteve-se para o distrito de Coimbra uma quantidade de resíduos de 165 368 ton verdes /ano que corresponde a 115 352 ton secas / ano.

6.2.1.2.2 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo pinheiro bravo

No distrito de Coimbra 50,1 % da área florestal é ocupado por pinheiro bravo com uma densidade média de 452 árvores/há (média nacional de acordo com a composição da floresta).[40] Para a estimativa dos resíduos gerados pelo pinheiro calcula-se a partir da equação 4 a massa dos ramos e do topo provenientes do pinheiro bravo em kg verdes / árvore com uma humidade de 59 %. [43]

Deste modo, os resultados obtidos para os resíduos resultantes do pinheiro bravo, tendo em conta a sua densidade florestal e sabendo que em média o pinheiro bravo é abatido ao fim de 39 anos de vida, obteve-se um total de 88 224 ton verdes / ano que corresponde a 59 738 ton secas / ano.

6.2.1.2.3 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pela indústria da madeira e do mobiliário

A estimativa da quantidade de resíduos que resultam das indústrias do sector da madeira e do mobiliário consta na Tabela 17. [38]

Tabela 17 - Quantidade de resíduos no sector da madeira e do mobiliário em Coimbra

Fonte de matéria-prima	Quantidade de resíduos (ton secas/ano)
Serração	6052,9
Mobiliário	3175,1
Painéis folheados	3840,0
Carpintaria	4908,4
Parquetaria	2404,5
Total	20380,9

6.2.1.3 Distrito de Viseu

Para a análise da quantidade de resíduos gerados no distrito de Viseu em que a área ocupada pela floresta corresponde a 153991 ha, como se pode visualizar na Tabela 18. A composição da floresta é principalmente assegurada pelo pinheiro bravo que ocupa 85465 ha e pelo eucalipto que ocupa 38806 ha. [40]

Tabela 18 – Utilização do solo no distrito de Viseu [41]

USO DO SOLO	ÁREA (ha)	INCERTEZA (%)
Floresta	191.433	3
Incultos	136.022	4
Improdutivos	11.389	15
Agricultura	147.132	4
Social	12.243	14
Águas interiores	2.904	30

6.2.1.3.1 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo eucalipto

A quantidade de eucalipto existente em Viseu corresponde a 25,2 % da área total da floresta neste distrito.

De modo semelhante aos casos anteriores, aplicam-se as equações 1, 2 e 3. Assim a partir dos dados anteriormente obteve-se para o distrito de Viseu uma quantidade de resíduos de 85 195 ton verdes /ano que corresponde a 59 427 ton secas / ano.

6.2.1.3.2 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pelo pinheiro bravo

A quantidade de pinheiro bravo existente em Viseu ocupa 55,5% da área total da floresta. A estimativa dos resíduos gerados pelo pinheiro, de igual modo aos valores anteriormente calculados é obtida a partir da equação 4.

Para os resíduos resultantes do pinheiro bravo, obteve-se um valor total de 73 397 ton verdes / ano que corresponde a 49 698 ton secas / ano.

6.2.1.3.3 Estimativa da quantidade de resíduos gerados pela indústria da madeira e do mobiliário

De igual modo aos valores anteriormente obtidos, a quantidade de resíduos que resultam das indústrias do sector da madeira e do mobiliário, são calculados com base na referência anteriormente citada, (Tabela 19). [38]

Tabela 19 - Quantidade de resíduos no sector da madeira e do mobiliário em Aveiro

Fonte de matéria-prima	Quantidade de resíduos (ton secas/ano)
Serração	7655,0
Mobiliário	4015,5
Painéis folheados	4856,5
Carpintaria	6207,7
Parquetaria	3041,0
Total	25775.7

6.2.1.4 Análise de resultados da estimativa dos resíduos existentes

Os resultados obtidos nos três distritos considerados, Aveiro, Coimbra e Viseu, são comparados em função da sua disponibilidade anual de resíduos, como se pode visualizar no Gráfico 2. Estes valores são apresentados com uma base de humidade de 8%.

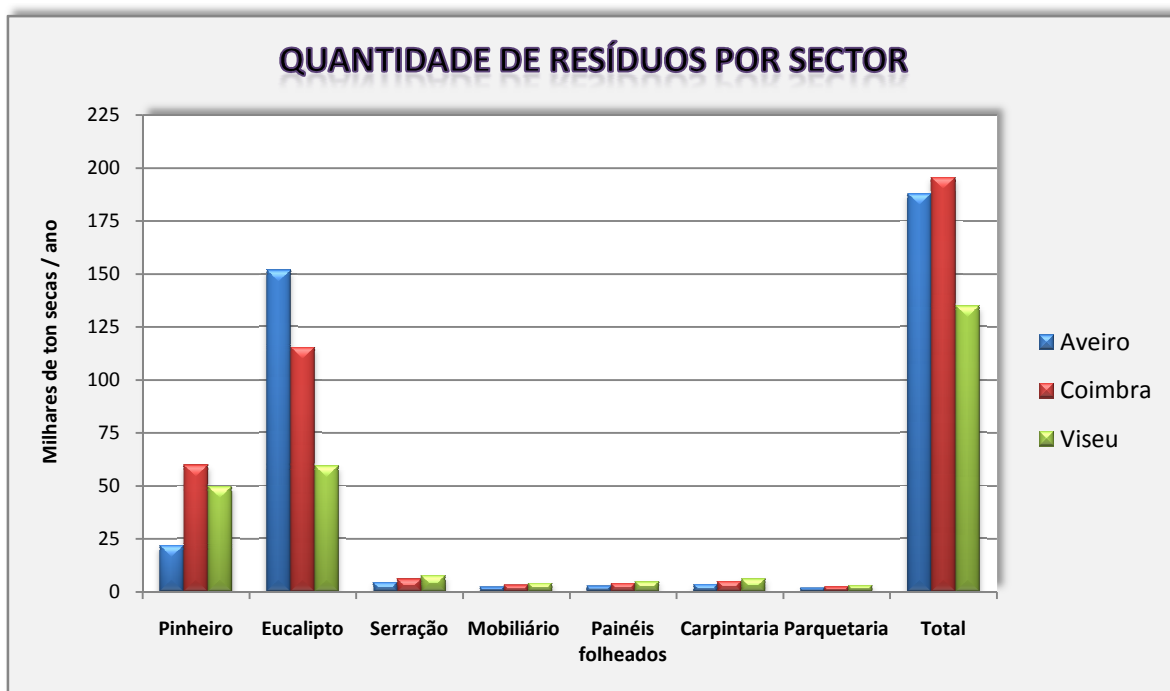


Gráfico 2 - Comparação da quantidade de resíduos por sector em Aveiro, Coimbra e Viseu.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que o distrito de Coimbra possui no total uma maior quantidade de resíduos de biomassa logo seguido do distrito de Aveiro. No entanto, analisando os valores obtidos em função da área ocupada por cada distrito verifica-se que para o distrito de Aveiro se obtém uma quantidade média de 0,67 ton

secas/ha/ano, para o distrito de Coimbra 0,49 ton secas/ha/ano e para Viseu 0,27 ton secas/ha/ano, como se pode visualizar na Tabela 20.

Tabela 20 – Total de resíduos provenientes da floresta e da indústria da madeira.

	Total de resíduos ton secas / ano	Total de Resíduos ton secas / ha / ano
Aveiro	187820,4	0,67
Coimbra	195470,9	0,49
Viseu	134900,7	0,27

Como se pode verificar pela análise dos valores obtidos o distrito de Aveiro dispõe de uma maior disponibilidade de resíduos por hectare, sendo grande parte destes resíduos provenientes da exploração do eucalipto.

6.2.2 Estimativa do consumo de resíduos nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu, levando em consideração os actuais consumidores e os projectos lançados a concurso

No presente capítulo são analisados os existentes e potenciais consumidores de resíduos de biomassa estimando desta forma, a quantidade de resíduos sem aproveitamento nos diferentes distritos em análise nomeadamente, Aveiro, Coimbra e Viseu.

Actualmente em Portugal apenas existem duas centrais termoeléctricas que utilizam os resíduos de biomassa para a produção de energia eléctrica. A Central de Mortágua que se localiza do distrito de Viseu, e a Centroliva, SA, em Vila Nova de Ródão, distrito de Castelo Branco. Existem também nove centrais de cogeração instaladas nas indústrias do sector florestal que fazem aproveitamento de biomassa para produção de calor como a Portucel nas suas quatro centrais; Amorim Revestimentos, Stora Celbi, Soporcel, SIAF e Companhia de Celulose do Caima. No entanto, grande parte da biomassa é proveniente de resíduos produzidos pelas próprias empresas não estando disponível no âmbito deste estudo. [44]

No ano de 2006 foi lançado pelo governo um concurso para a implementação de quinze novas centrais termoeléctricas a biomassa florestal, representando um total de 100 megawatts, tendo como objectivo alcançar a meta de 250 megawatts de energia eléctrica produzida a partir de biomassa até 2010. Com o aparecimento destas novas centrais termoeléctricas a biomassa florestal, o panorama da disponibilidade dos resíduos de biomassa sofrerá algumas alterações. Deste modo o presente estudo terá em conta o futuro consumo destas novas centrais em concurso.

6.2.2.4 Distrito de Aveiro

No distrito de Aveiro não existem centrais termoeléctricas implementadas, e o concurso lançado pelo governo também não prevê nenhuma nova termoeléctrica para este distrito. No entanto, a fábrica de pasta de papel do grupo Portucel Soporcel em Cacia além de fazer o aproveitamento dos seus próprios resíduos de biomassa, celebrou um protocolo de colaboração de recolha e tratamento de biomassa com diversas Câmaras Municipais do distrito de Aveiro. Assim, estima-se um aproveitamento de biomassa de aproximadamente 60 000 ton/ano. As centrais existentes nos distritos vizinhos podem ainda ter como fonte de matéria-prima os resíduos existentes em Aveiro, visto estas centrais terem normalmente um raio de actuação definido. [45]

6.2.2.5 Distrito de Coimbra

Para o distrito de Coimbra está previsto em 2009, o arranque de uma central termoeléctrica com uma potência instalada de 30 MVA na Figueira da Foz, nas instalações fabris da CELBI, Celulose Beira Industrial, SA. e, relativamente ao concurso lançado pelo governo para centrais termoeléctricas o distrito de Coimbra será abrangido com uma central com uma potência instalada de 3 MVA.

Em relação à central termoeléctrica da Figueira da Foz a central irá funcionar num regime de 24 horas por dia e 350 dias por ano, com um consumo médio de 50 ton/h de biomassa, que correspondem a 380 000 ton verdes/ano. Deste modo prevê-se que cerca de 33% da biomassa consumida seja directamente resultante da exploração florestal, sendo a parte restante constituída por resíduos fibrosos provenientes da laboração da fabrica de pasta de papel da CELBI. [46]

Assim, contabilizando as duas futuras centrais termoeléctricas a instalar no distrito de Coimbra obtem-se o consumo de 96 461,3 ton secas/ano.

6.2.2.6 Distrito de Viseu

A região de Viseu contará com duas das quinze centrais termoeléctricas a biomassa florestal do concurso lançado pelo governo sendo as suas potências de 5 e 10 MVA. Além destas centrais a implementar, actualmente já existe a Central de Mortágua com uma potência de 10 MVA.

A Central de Mortágua encontra-se instalada no concelho de Mortágua e está inserida numa extensa área florestal, tem um rendimento bruto de 26,5 % e um consumo de 8,7 ton verdes/h em plena carga; tendo uma disponibilidade anual de 7800 horas, desta forma esta central necessita de um abastecimento de 67 860 ton verdes/ano. [47]

Deste modo considerando que as futuras centrais termoelétricas funcionarão com rendimentos e necessidades de consumo de resíduos idênticos, estima-se uma necessidade total de resíduos de biomassa de 137 927,8 ton verdes/ano para o abastecimento das três centrais.

6.2.3 Distribuição e disponibilidade dos resíduos de biomassa disponíveis nos diferentes distritos

Neste item é analisada a disponibilidade de resíduos de biomassa. Para realizar esta análise é efectuado um balanço entre os valores anteriormente obtidos do consumo das futuras e actuais empresas consumidoras destes resíduos, e a quantidade produzida proveniente da floresta e das empresas do sector da madeira.

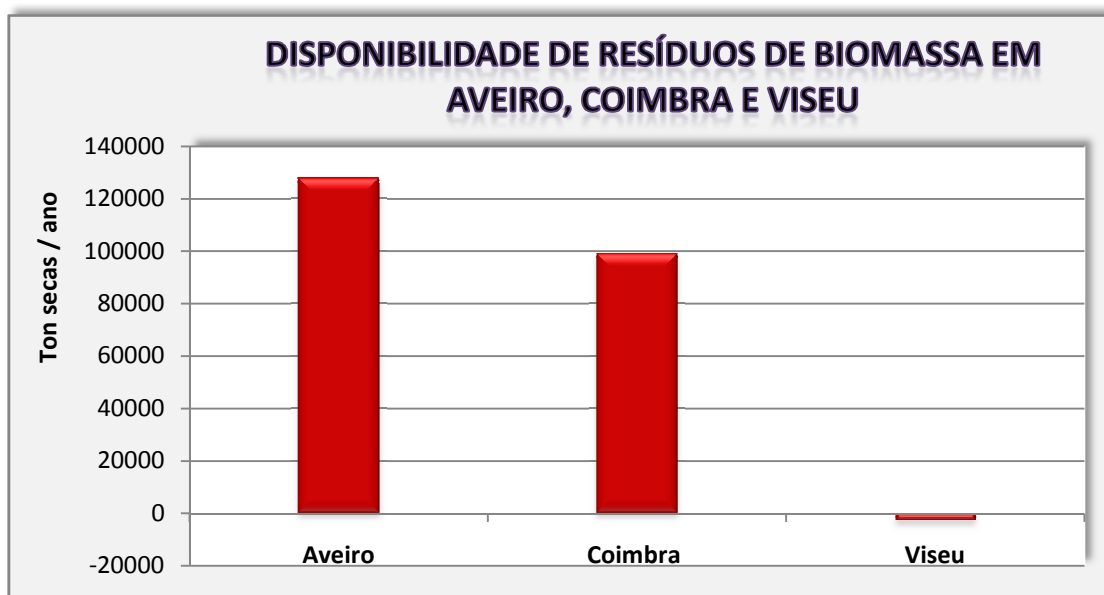


Gráfico 3 - Disponibilidade de resíduos de biomassa em Aveiro, Coimbra e Viseu.

Como se pode verificar pelo Gráfico 3 no distrito de Aveiro existe uma boa disponibilidade de biomassa sendo apenas proveniente do aproveitamento de resíduos. Este valor é de 127 820 ton secas/ano. No distrito de Coimbra a disponibilidade de resíduos de biomassa é de 99 009 ton secas/ano. O distrito de Viseu apresenta um pequeno deficit quando comparada a quantidade consumida e a quantidade existente de resíduos. Este facto justifica-se pelo grande consumo de biomassa que se virá a verificar nessa região. Assim, as empresas consumidoras de resíduos de biomassa neste distrito têm a necessidade de recorrer ao aproveitamento de biomassa em outros distritos para compensar o deficit verificado. No entanto, a quantidade disponível resíduos de biomassa pode ser mais elevada se forem devidamente aproveitados os resíduos provenientes da agricultura.

6.2.4 Indicadores relativos à localização de uma unidade de produção de pellets

O local para a implementação da fábrica de produção de pellets é escolhido de acordo com diversos parâmetros a considerar. A escolha é feita tendo em conta a disponibilidade de biomassa na periferia da fábrica, de modo a maximizar o rendimento na recolha de resíduos de biomassa nomeadamente no seu transporte. Foi também considerado o potencial mercado consumidor, reduzindo deste modo os custos associados à distribuição de pellets. Outro factor de relevante importância para esta escolha foi a proximidade e a existência de uma boa rede de vias de acesso, facilitando o acesso tanto aos centros populacionais mais próximos, como à floresta de onde é proveniente grande parte dos resíduos de biomassa.

Assim, a unidade de produção de pellets ficará localizada na zona que engloba a parte sul de Aveiro e a parte norte de Coimbra. Em relação à distribuição de pellets, o local escolhido permite que a distribuição seja efectuada em circunstâncias bastante semelhante tanto para o distrito de Aveiro como para o distrito de Coimbra. No entanto, a distribuição de pellets pode estender-se a outros distritos visto que a grande densidade dos pellets permite o transporte de elevadas quantidades ocupando um baixo volume. Além disso, existe também a possibilidade de utilizar os transportes ferroviários para proceder à distribuição de pellets.

Esta localização dispõe também de acesso a uma boa rede de estradas, sendo essencial para o acesso aos grandes centros populacionais para a distribuição de pellets assim como para um eficaz transporte dos resíduos de biomassa.

Na Figura 25 pode visualizar-se a zona de implantação da fábrica de pellets assim como a representação das principais vias de comunicação.

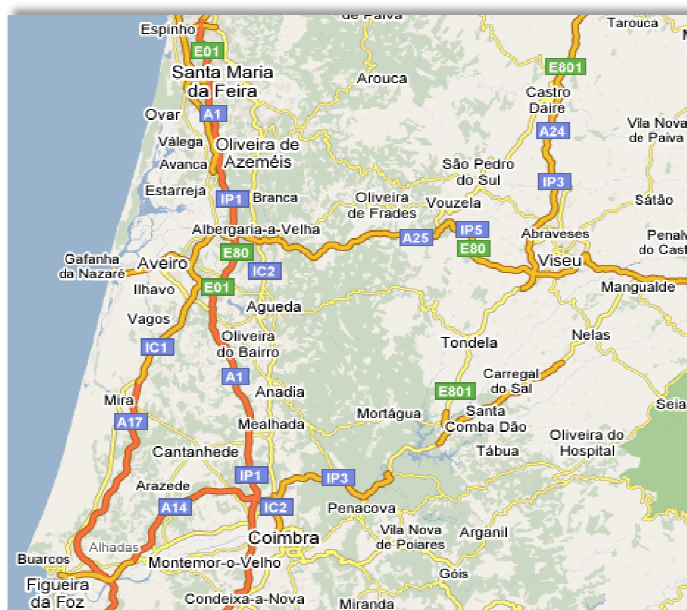


Figura 25 – Mapa com a localização da fábrica de pellets a implementar. [48]

Relativamente à distribuição da biomassa este é o ponto de maior importância na escolha da localização para a implementação da fábrica de pellets. Na Figura 26 pode visualizar-se a caracterização da ocupação territorial por concelhos em Portugal. Os concelhos estão caracterizados de acordo com a predominância de ocupação, atendendo às seguintes especificidades: habitação, culturas permanentes, combinação de floresta, vegetação herbácea e zonas descobertas, agricultura heterogénea, floresta, áreas agrícolas com culturas anuais e vegetação arbustiva ou herbácea.

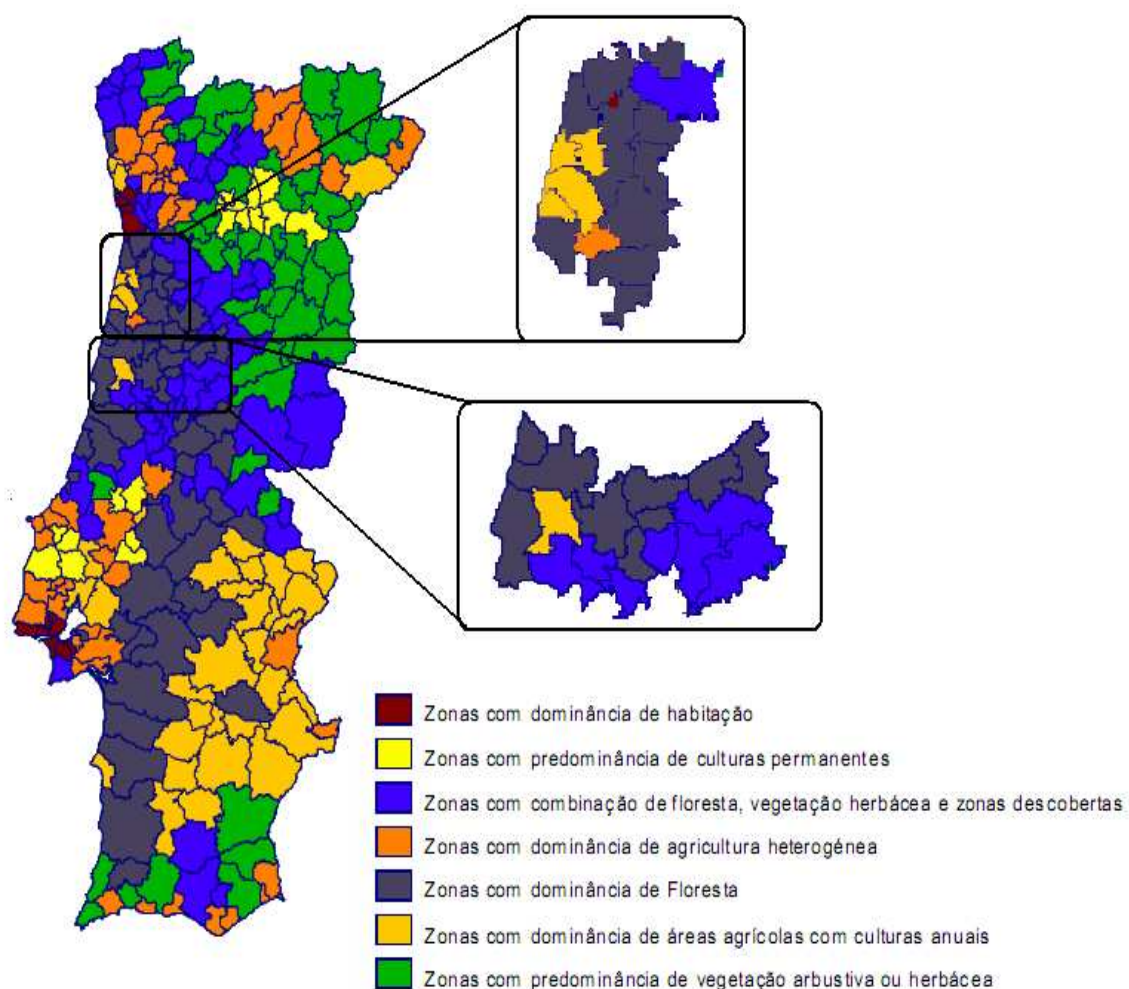


Figura 26 – Caracterização da ocupação territorial dos concelhos em Portugal, com destaque para o distrito de Aveiro. [49]

Como se pode visualizar a parte do continente que engloba os distritos em análise, a ocupação do território é predominantemente: floresta, zonas agrícolas heterogéneas, zonas com combinação de floresta, vegetação herbácea e zonas descobertas. No caso particular do distrito de Aveiro, onde se encontra uma maior disponibilidade de resíduos de

biomassa por hectare quando comparado com os restantes distritos em análise, verifica-se que grande parte dos concelhos são ocupados predominantemente por floresta, sendo que numa pequena parte dos concelhos a predominância da ocupação é composta por áreas agrícolas com culturas anuais. Para o distrito de Coimbra, a parte norte do distrito é composta maioritariamente por zonas com dominância de floresta, sendo a parte sul composta por zonas com combinação de floresta, vegetação herbácea e zonas descobertas.

7 Análise do potencial de mercado

Hoje em dia existe ainda alguma relutância por parte da sociedade portuguesa, em aceitar o recurso à biomassa florestal como fonte de energia renovável. Esta situação pode explicar-se a dois níveis: por um lado, a identificação deste recurso como lenhas e outros resíduos florestais, numa sociedade rural, pobre e pouco desenvolvida, que perdurou até perto dos anos 80, cujas actividades eram praticamente dependentes da utilização desta energia; por outro lado, ao nível industrial, a substituição desta energia por gás natural e outras, mais limpas e fiáveis. [50]

O potencial mercado consumidor de pellets será composto essencialmente pelo sector doméstico e edifícios públicos, onde o consumo de energia térmica para aquecimento é bastante elevado, com principal destaque para piscinas, escolas, hospitais, pavilhões gimnodesportivos, hotéis, entre outros. No sector da indústria a sua utilização é também bastante significativa onde a necessidade de energia térmica para aplicação em processos, como por exemplo, os seguintes: de cura, secagem, cozedura ou aquecimento, que implicam grandes consumos energéticos. Assim sendo indústrias do sector alimentar, da cerâmica, do sector agrícola ou metalúrgico, entre outros são sectores de potencial utilização de pellets.

No sector doméstico e em edifícios públicos a utilização de pellets para produção de energia térmica passa pela implementação de sistemas adequados para o efeito. Estes podem ser utilizados como substitutos de equipamentos já existentes onde são utilizados outros combustíveis. Actualmente existe a possibilidade de adaptação desses equipamentos já existentes para o funcionamento a pellets, nomeadamente caldeiras com funcionamento a gasóleo. De igual modo nos diferentes sectores industriais a alteração de sistemas que funcionam com outros combustíveis para funcionamento a pellets é também possível em alguns casos.

Deste modo, o potencial mercado para venda de pellets no distrito de Aveiro, onde existe uma população residente é de 727 041 habitantes distribuídos por uma área de 2 802 km² que corresponde a uma densidade média de 259 hab/km². O Distrito de Aveiro está situado na Beira Litoral e é constituído por dezanove concelhos: Espinho, Santa Maria da Feira, Castelo de Paiva, Arouca, Vale de Cambra, São João da Madeira, Oliveira de Azeméis, que se encontram na parte norte de Aveiro e Ovar, Murtosa, Estarreja,

Albergaria-a-Velha, Sever do Vouga, Águeda, Anadia, Aveiro, Ílhavo, Vagos, Oliveira do Bairro, Mealhada, que se encontram na parte sul de Aveiro. [51]

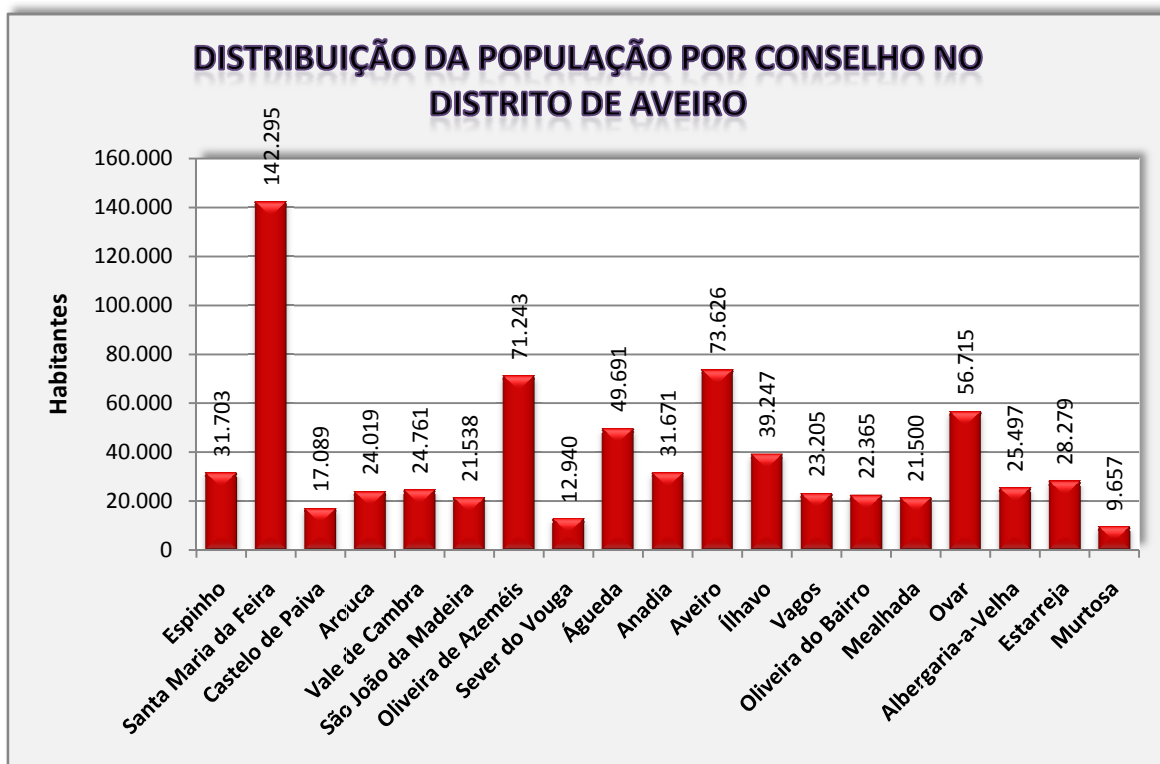


Gráfico 4 – População Residente no Distrito de Aveiro distribuída por concelhos. [51]

Como se pode observar, (Gráfico 4), está representada a distribuição da população no distrito de Aveiro. Santa Maria da Feira é o concelho mais populoso neste distrito seguido de Aveiro e Oliveira de Azeméis. De uma forma geral a zona norte de Aveiro é mais populosa que a zona sul.

Relativamente ao distrito de Coimbra em que a população residente é de 424 455 habitantes distribuídos por uma área de 3 972 km² que corresponde a uma densidade média de 107 hab/km². O distrito de Coimbra pertence na sua maioria à Beira Litoral embora vários concelhos pertençam à Beira Alta e Beira Baixa. Este distrito é composto por dezassete concelhos: Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Góis, Lousã, Mira, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Penacova, Penela, Soure, Tábua e Vila Nova de Poiares. [51]

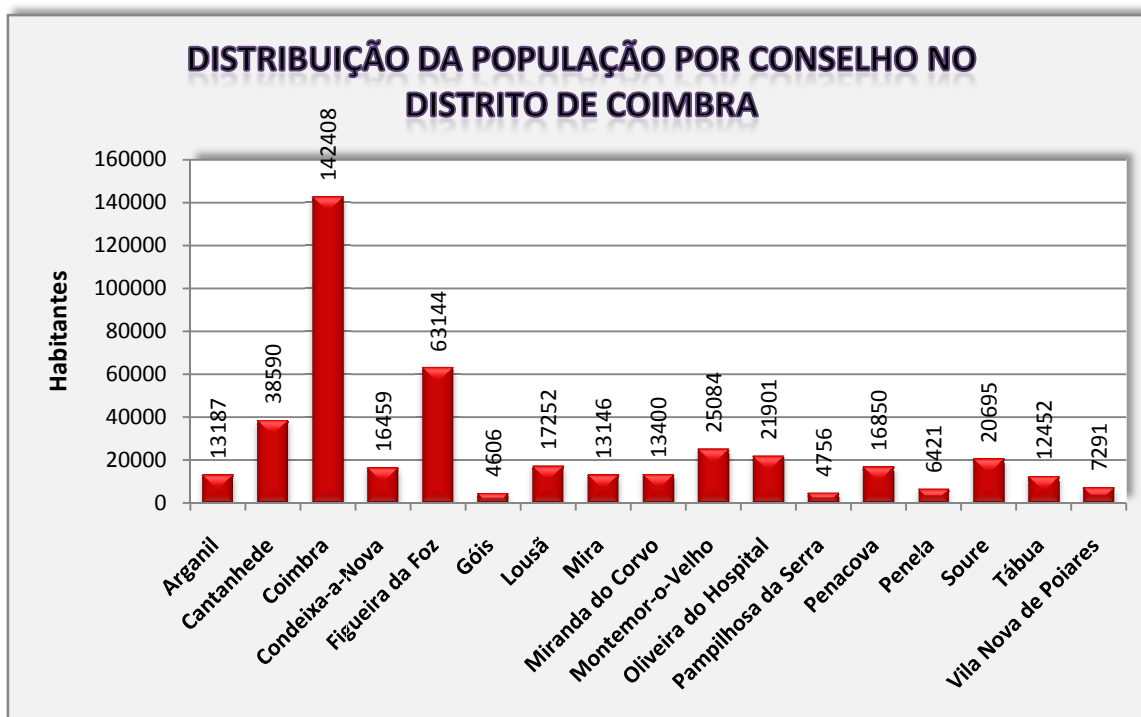


Gráfico 5 - População Residente no Distrito de Coimbra distribuída por concelhos. [51]

No Gráfico 5 visualiza-se a distribuição da população residente no distrito de Coimbra por concelhos. Como se pode verificar o concelho mais populoso é o de Coimbra seguido da Figueira da Foz e Cantanhede. Deste modo pode verificar-se que cerca de 57% da população residente no distrito de Coimbra se encontra concentrada nestes três concelhos, localizados na zona litoral do distrito.

Os distritos de Aveiro e Coimbra apresentam uma grande diversidade de edifícios públicos onde o consumo de energia para aquecimento é bastante significativo. A quantidade de edifícios públicos existentes com necessidades de aquecimento e com potencialidades para o consumo de pellets é apresentada na Tabela 21

Tabela 21 – Edifícios com potencial para consumo de pellets no distrito e Aveiro e Coimbra. [51]

Tipo de Edifício Publico	Distrito de Aveiro	Distrito de Coimbra
Pavilhões gimnodesportivos	50	23
Piscinas Publicas	41	32
Auditórios	24	8
Bibliotecas	28	18
Museus	14	19
Escolas do pré-escolar	1094	832
Escolas do ensino básico	593	484
Hospitais	6	7
Escolas secundárias	29	40
Universidades	1	1

Os edifícios públicos são grandes consumidores de energia térmica, principalmente para climatização. Alguns consumidores têm uma necessidade de um abastecimento contínuo, como por exemplo o caso dos hospitais. Este consumo intensivo de energia leva a que a factura energética seja um factor de elevada importância nos gastos dos seus utilizadores. O consumo doméstico de energia para climatização é também elevado e os seus custos representam de igual forma um peso bastante significativo na factura dos consumidores. Na Tabela 22 são apresentados os consumos anuais de gasóleo colorido destinado a aquecimento e de gás natural nos distritos de Aveiro e Coimbra.

Tabela 22 – Consumo de gasóleo de aquecimento e de gás natural nos distritos de Aveiro e Coimbra. [52][53]

Consumo energético	Aveiro		Coimbra	
	<i>Ton</i>	<i>Tep</i>	<i>Ton</i>	<i>Tep</i>
Gasóleo de aquecimento (ton)	13 657	14 272	10 344	10 809
Doméstico	2 139	2 235	0	0
Serviços	11 050	11 547	8 905	9 306
Industria	466	487	1 208	1 262
Outros	2	2.1	231	241
	10^3 Nm^3	<i>Tep</i>	10^3 Nm^3	<i>Tep</i>
Gás natural (10^3 Nm^3)	380 769	346 500	199 552	181 592
Doméstico	15 765	14 346	8 067	7 341
Serviços	84 366	76 773	4 826	4 392
Industria	280 631	255 374	186 658	169 859
Outros	7	6,4	1	0,91

A par deste grande consumo de energia que se verifica nos dias de hoje, assiste-se também a uma grande escalada dos preços dos combustíveis fósseis. Assim, existe hoje em dia uma grande divulgação de novas formas de energias limpas e mais baratas, nomeadamente na forma de pellets. Sendo que esta divulgação também se insere na expectativa de cumprir os objectivos impostos pelo protocolo de Quioto. Além disso existem também alguns incentivos para a aquisição de queimadores de pellets, sendo estes equipamentos sujeitos a um IVA de 12 %. São também dedutíveis no IRS 30 % dos seus custos até um máximo de 777 €. [54] Prevê-se assim uma crescente procura por energias mais baratas e amigas do ambiente, o que se traduzirá numa alteração de uma quota de mercado dos consumidores de combustíveis fósseis para o consumo de pellets.

De acordo com diferentes cenários possíveis para uma quota de penetração, efectua-se uma estimativa de consumo de pellets, tendo em conta os principais combustíveis actualmente utilizados para produzir energia térmica, nomeadamente gasóleo colorido destinado a aquecimento e gás natural. Na Tabela 23 estão representadas as

quantidades de pellets consumidas anualmente, considerando que parte dos consumidores passa a utilizar pellets como fonte de energia.

Tabela 23 – Estimativa do consumo anual de pellets considerando a conquista de uma quota de mercado ao gás natural e gasóleo de aquecimento.

	Aveiro		Coimbra	
	<i>Tep</i>	<i>Ton pellets</i>	<i>Tep</i>	<i>Ton pellets</i>
Quota do Mercado 1%	3 607	8 390	1 924	4 474
Quota do Mercado 3%	10 823	25 170	5 772	13 423
Quota do Mercado 5%	18 038	41 950	9 620	22 371
Quota do Mercado 9%	32 469	75 509	17 316	40 269
Quota do Mercado 15%	54 115	125 849	28 860	67 115
Quota do Mercado 19%	68 546	159 409	36 556	85 013
Quota do Mercado 25%	90 193	209 748	48 100	111 860

Pressuposto: Considera-se o mesmo rendimento de combustão para os diferentes equipamentos.

Como se pode observar pelos valores obtidos, uma pequena percentagem de quota do mercado do consumo de gás natural e gasóleo de aquecimento representa uma grande quantidade de consumo de pellets. No entanto, esta alteração de consumo de combustíveis fósseis para energia na forma de pellets tem ainda que concorrer com outras energias alternativas como a energia solar e eólica. O que pode levar os consumidores a optarem também por este tipo de energia. Para além dos actuais consumidores de energia existem ainda os futuros consumidores de energia que por sua vez, são também potenciais consumidores de pellets. Uma análise mais detalhada sobre os custos dos diferentes tipos de energia para o consumidor será efectuada posteriormente.

8 Análise das etapas associadas a todo o processo de produção de pellets

Neste capítulo serão analisados os custos de processamento associados a cada uma das etapas que constituem a produção de pellets. Ao processo de produção de pellets estão associadas algumas etapas fundamentais que devem ser analisadas, de modo a maximizar o rendimento de produção. As principais etapas a analisar são a recolha de matéria-prima, a produção de pellets e a sua distribuição. Entre estas etapas há ainda a necessidade de armazenamento da matéria-prima e dos pellets.

No esquema da Figura 27 pode visualizar-se as diferentes etapas que constituem a produção de pellets.

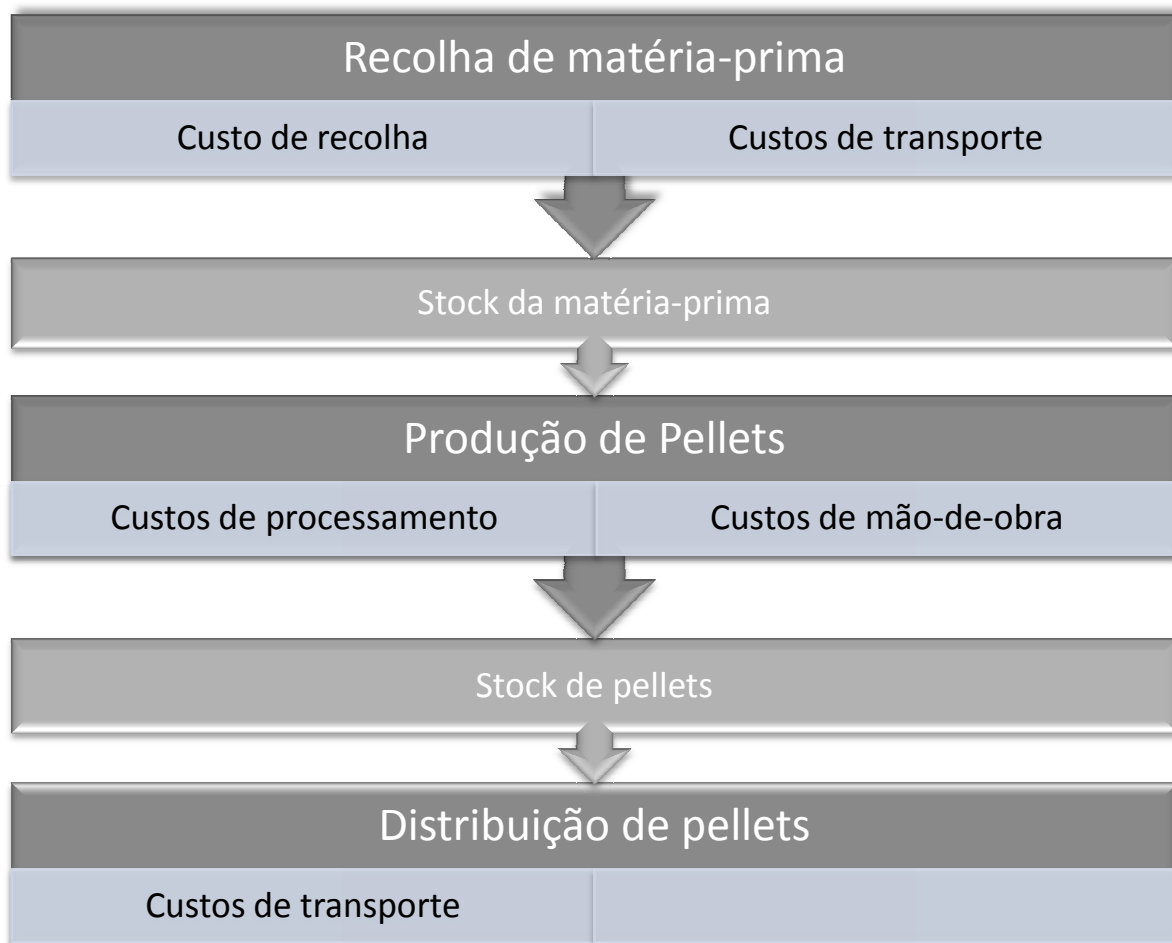


Figura 27 – Esquema das diferentes etapas para a produção de pellets.

8.1 *Análise dos custos associados à recolha de matéria-prima*

Um aspecto de crucial importância para o custo final da produção de pellets é o processo de aproveitamento de matéria-prima. Para tal há a necessidade de otimizar todo este processo, desde o trabalho de recolha ao seu transporte.

Para o desempenho do processo de recolha de resíduos de biomassa o produtor de pellets pode fazer ele próprio a recolha tendo deste modo, que recorrer ao investimento em máquinas adequadas para o efeito. Outra alternativa é recorrer a empresas especializadas neste sector para a prestação destes serviços. Nestas circunstâncias o produtor de pellets irá receber a matéria-prima à porta da fábrica e terá que se sujeitar aos preços praticados por estas empresas.

A crescente procura deste tipo de resíduos, quer pelo aumento do número de termoelétricas, quer pela crescente procura de biomassa para produzir energia térmica leva a que se abram novas oportunidades de mercado. O aparecimento de micro e pequenas

empresas para o fornecimento de matéria-prima às empresas consumidoras de biomassa será uma realidade.

Na presente estimativa são analisados os custos de recolha de resíduos florestais, que representam a maior parte da proveniência de resíduos para a produção de pellets. O processo de recolha de resíduos florestais divide-se em duas operações essenciais: a colheita da biomassa na floresta e o transporte desta. Além destas operações existe também a possibilidade de se efectuar o estilhaçamento na floresta.

8.1.1 Estimativa dos custos de colheita da matéria-prima na floresta

O processo de colheita da biomassa existente na floresta, nomeadamente, de ramos, topos e a casca das árvores é efectuada normalmente com o auxílio de tractores florestais com grua. Estes equipamentos podem também efectuar o processo de estilhaçamento e recolha simultaneamente. Contudo, o estilhaçamento é muitas das vezes efectuada separadamente em estilhaçadores. Além destes equipamentos, este processo necessita também de trabalho manual. O custo associado a esta operação pode variar bastante, sendo a dispersão da matéria-prima no solo florestal, as irregularidades no terreno e as dificuldades de acesso os principais factores que limitam esta operação.

Assim, é efectuada uma estimativa dos custos de recolha de resíduos florestais. Para esta estimativa são considerados os valores experimentais de um estudo realizado na Galiza sobre a recolha de resíduos provenientes do eucalipto e do pinheiro. [55] Neste estudo foi testada a recolha de resíduos com o auxílio de um tractor florestal com grua, numa área compreendida entre 3 e 4 hectares. A parcela de floresta escolhida para este estudo tem baixa inclinação e uma irregularidade do terreno considerável. Trata-se de uma parcela de terreno onde foi efectuada o abate de grande parte das árvores aí existentes. Assim, na situação considerada, os resíduos de biomassa encontram-se distribuídos de forma dispersa na parcela de floresta. O rendimento obtido foi de 3,2 e 4 toneladas de resíduos verdes por hora de trabalho, para restos de corte de pinheiro e eucalipto respectivamente. O rendimento obtido com restos de eucalipto foi um pouco maior devido à conformação dos resíduos. Nesta operação os valores obtidos foram um pouco reduzidos em consequência da grande dispersão do material, o que dificultou a tarefa de recolha com a grua. A realização desta operação com os resíduos menos dispersos pode alcançar um rendimento sensivelmente superior. [55] Deste modo na Tabela 24 são apresentadas algumas estimativas dos custos associados à operação de recolha dos resíduos florestais. Para esta estimativa, são consideradas as quantidades médias recolhidas no estudo realizado na Galiza, e os custos relativos ao consumo e à manutenção de alguns tractores florestais com grua.

Tabela 24 – Estimativa do custo de colheita florestal da matéria-prima. [55][57][62]

Tractores florestais com grua	DEUTZ Agrotron K 110	DEUTZ Agrotron TTV 1160	ROTTNE SOLID F12 S
Quantidade média recolhida (ton/hora)	3,6	3,6	3,6
Potência do tractor de recolha (kW)	81	113	122
Consumo tractor de recolha (litros/hora)	11,6	13	15
Manutenção (€/hora)	10,5	10,6	10,6
Tempo útil de trabalho (%)	75	75	75
Mão-de-obra (€/hora)	10	10	10
Custo (€/ton)	13.65	14,42	15,46

Para a estimativa dos custos de recolha dos resíduos florestais que se encontram dispersos na floresta, obteve-se um custo médio de 14,51 €/tn. Os custos de recolha são bastante semelhantes entre os vários equipamentos, isto porque não se notam grandes diferenças entre os consumos e os resíduos recolhidos são considerados iguais para todos os casos. É considerado ainda nesta estimativa que o tempo útil de recolha é de 75%, isto deve-se ao tempo gasto em deslocações de descarga.

8.1.2 Estimativa dos custos de transporte da matéria-prima

Relativamente ao transporte dos resíduos florestais, o principal factor limitador desta operação é a sua baixa densidade, que dificulta e encarece o transporte deste tipo de resíduos. Por essa razão, a recolha de resíduos florestais no seu estado primário está limitado a distâncias muito curtas devido aos custos de transporte. É deste modo importante a redução destes resíduos numa forma mais compacta, aumentando a sua densidade e o melhorando o seu manuseio. Assim a área que é abrangida para a recolha de resíduos é maior, consequência da diminuição dos custos de transporte. Hoje em dia já existem tecnologias de estilhaçamento com grande mobilidade que permitem a redução dos resíduos florestais na própria floresta, como anteriormente foi referido.

Na Figura 28 é possível visualizar a comparação entre o volume ocupado pelos resíduos florestais, por estilhas de madeira e por troncos de árvores. Sendo que a densidade média dos resíduos florestais na sua forma primária é de 150 kg / m³ e em forma de estilhas é de 390 kg / m³. [55]

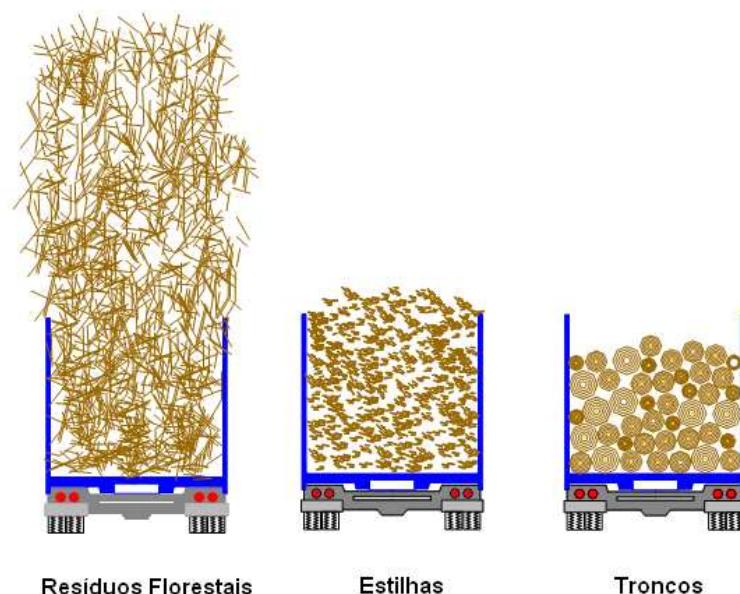


Figura 28 – Comparação entre os volumes ocupados pelos resíduos florestais, estilhas de madeira e troncos de árvores. [55]

Os custos associados ao transporte dos resíduos de biomassa estão claramente dependentes dos preços do combustível utilizado, que são extremamente instáveis. Para a presente análise considera-se o preço actual do gasóleo que é 1,41 €/litro. Assim na Tabela 25 é apresentada uma estimativa dos custos de transporte da matéria-prima. Para esta estimativa são considerados quatro modelos de camiões de transportes industriais com diferentes características. Assim são estimados os custos totais para o transporte dos resíduos de biomassa na sua forma primária e em forma de estilha tendo em consideração os consumos, os custos de manutenção e os custos de mão-de-obra. Os valores para os custos de matéria-prima foram obtidos com base em valores fornecidos por algumas empresas de recolha de resíduos e de distribuição. [56]

Tabela 25 – Estimativa dos custos de transporte de matéria-prima. [56][57][58][59]

	DUETZ - 200	DAF LF45	DAF LF45	Volvo FE
Peso bruto (ton)	10	12	21	26
Capacidade de carga (m ³)	13	16	31	38
Potência (kW)	150	165	210	241
Binário (Nm)	820	850	1020	1200
Consumo (litros/100 km)	10	16	25	28
Manutenção (€/km)	0,19	0,20	0,21	0,21
Motorista (€/km)	0,75	0,75	0,75	0,75
Custo Resíduos (€/ton secas. km)	0.86	0.77	0.42	0,38
Custo Estilha (€/ton secas. km)	0.33	0.30	0.17	0.14

Os valores estimados do custo de transporte para resíduos florestais no seu estado primário estão compreendidos entre 0,38 €/ton.km e 0,86 €/ton.km. Para os resíduos florestais em forma de estilha os custos de transporte estimados variam entre 0,14 €/ton.km e 0,33 €/ton.km. Como se pode notar, existe uma grande diferença de preços entre os custos de transporte dos resíduos na sua forma primária e os resíduos em forma de estilha. A transformação dos resíduos florestais em estilha permite o transporte de uma maior quantidade devido ao aumento da sua densidade, diminuindo assim os custos de transporte. É de notar também que os custos variam para os diferentes modelos de veículos apresentados. Este facto justifica-se pelo aumento da capacidade de carga e a não alteração dos custos associados à mão-de-obra. No entanto, como consequência do aumento da capacidade de carga, a potência e o consumo dos veículos transportadores são também aumentados. Assim, a utilização de camiões de transporte de maior capacidade justifica-se, reduzindo deste modo os custos de transporte da matéria-prima por quilómetro percorrido, e por sua vez permite aumentar o raio de acção de recolha de biomassa florestal. No entanto, dificuldade de acessos pode limitar a utilização de veículos de grande capacidade.

8.1.3 Estimativa dos custos de estilhaçamentos dos resíduos florestais

Posteriormente à recolha dos resíduos florestais o processo de estilhaçamento pode também ser efectuado na floresta. Desta forma, são reduzidos os custos de transporte dos resíduos quando comparado com o transporte dos resíduos na sua forma primária, como anteriormente foi referido. Assim na presente estimativa são também considerados os custos de processamento desta operação na floresta. Na Tabela 26 são apresentados os valores estimados, para tal são considerados os custos de consumo do estilhaçador, os custos de manutenção e os custos de mão-de-obra.

Tabela 26 – Estimativa do custo de estilhaçamento dos resíduos de biomassa florestal. [14][57][61][62]

	DEMUTH 400	DEMUTH 600	LIPPEL 800
Potência do estilhaçador (kW)	65	95	150
Capacidade de produção (ton/hora)	7	12	15
Consumo do estilhaçador (litros/hora)	10	16	22
Manutenção (€/hora)	20.8	21	23
Mão-de-obra (€/hora)	10	10	10
Custo (€/ton)	6.41	4.46	4,27

O custo médio estimado para o processo de estilhaçamento foi 5,05 €/ton. Em muitas das situações de estilhaçamento na floresta, a potência mecânica necessária é fornecida através de um tractor florestal o que pode aumentar os custos de manutenção.

8.1.4 Análise dos custos totais de recolha de resíduos de matéria-prima

Neste item são agregados os custos de recolha e de transporte anteriormente calculados de forma a prever os custos da matéria-prima à porta da fábrica de produção de pellets. O transporte e a recolha dos resíduos de biomassa são efectuados na sua base húmida. No entanto os custos da matéria-prima são apresentados para o peso da matéria-prima com uma humidade de 8%. Considerando assim, que os resíduos de biomassa florestal são transportados na sua forma primária, sendo o processo de estilhaçamento efectuados apenas na própria fabrica de produção de pellets. Neste caso a evolução dos custos de recolha em função da distância percorrida, para os diferentes modelos de veículos são apresentados no Gráfico 6.

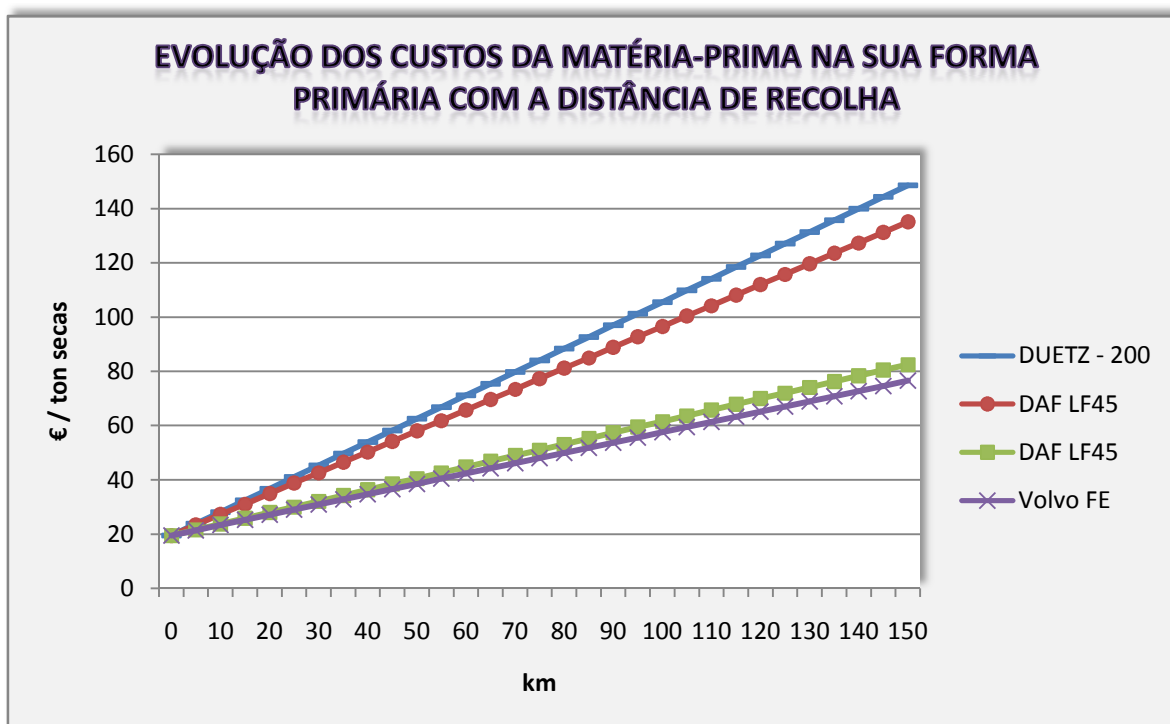


Gráfico 6 - Evolução dos custos da matéria-prima na sua forma primária com a distância de recolha.

Para o caso em que os resíduos de biomassa florestal são estilhaçados na própria floresta, é apresentada no Gráfico 7 a evolução dos custos da matéria-prima com a distância percorrida da floresta ao local de produção de pellets. São também considerados os diferentes veículos utilizados para o transporte.

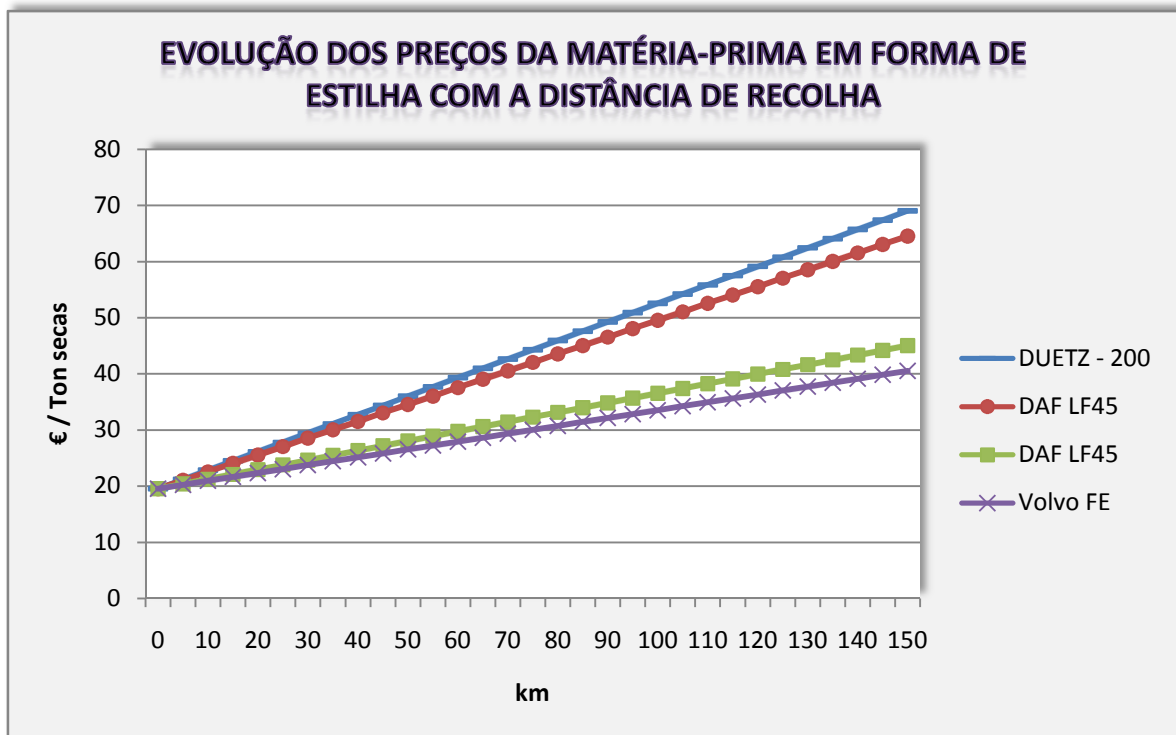


Gráfico 7 - Evolução dos custos da matéria-prima em forma de estilha com a distância de recolha.

Como se pode verificar pela análise do Gráfico 6 e do Gráfico 7, os custos totais da matéria-prima à porta da fábrica na sua forma primária são muito mais elevados em relação à matéria-prima em forma de estilha. De uma forma geral, considerando uma distância percorrida que pode variar de 15 km até 150 km, no caso da matéria-prima na sua forma primária, os custos variam entre 32,46 e 148,56 €/ton e no caso da matéria-prima em forma de estilha os custos variam entre 24,51 e 69,06 €/ton.

8.2 Análise dos custos associados à linha de produção de pellets

A linha de produção de pellets é a etapa de maior importância em todo o processo para a obtenção de pellets, tendo este sector um grande contributo para o custo final dos pellets. Ao presente processo estão associados um grande número de equipamentos e operações de tratamento da biomassa com a finalidade de obter um produto final de boa qualidade. Deste modo a sua optimização é um ponto de elevada importância. Sendo a utilização de mão-de-obra qualificada e eficiente e a minimização dos consumos energéticos dos equipamentos factores a ter em conta.

Para a presente análise são considerados dois custos distintos de produção, os custos de mão-de-obra e os custos de consumo dos vários equipamentos, sendo também considerada a manutenção destes equipamentos.

8.2.1 Análise dos custos de mão-de-obra da linha de produção de pellets

Os custos de mão-de-obra associados à linha de produção de pellets dividem-se por várias tarefas, que implicam um trabalho contínuo durante o tempo de laboração da fábrica. No entanto a mão-de-obra referente à manutenção de equipamento pode ser efectuada de forma periódica por entidades subcontratadas. Contudo, é considerado que o trabalho de manutenção é efectuado por um operador a trabalhar de forma contínua. Assim a parte da mão-de-obra em análise é referente ao manejo da biomassa, de operações na linha de produção e manutenção. A mão-de-obra necessária para laborar numa linha de produção é tanto maior quanto a dimensão da fábrica, ou seja, aumenta com a sua capacidade de produção. No entanto, a variação é pouco significativa visto a quantidade de operações a desempenhar ser igual para as várias capacidades de produção, sendo que em muitos casos é requerida a mesma quantidade de mão-de-obra para capacidades de produção distintas. Outro factor que implica uma maior quantidade de trabalhadores é o número de turnos em que a fábrica opera, podendo esta laborar até um máximo de três turnos diários de oito horas cada, sendo o custo da mão-de-obra mais elevado devido aos prémios de turno.

Assim, considera-se que uma fábrica de produção de pellets necessita de um empregado administrativo independentemente do número de turnos em que opera. Para cada turno de funcionamento uma linha de produção de pellets necessita em média de um técnico de produção, um encarregado e de três operários. Sendo esta a mão-de-obra mínima requerida para laborar num linha de produção. Deste modo os encargos mensais com mão-de-obra mínimos para um turno de funcionamento são em média de 7680 €/mês.

8.2.2 Análise dos custos energéticos e de manutenção dos equipamentos

Uma linha de produção de pellets é constituída por um grande número de equipamentos. Os maiores consumos de energia verificam-se no processo de secagem, no processo de moagem e no processo de prensagem da biomassa. Os equipamentos de secagem como os secadores rotativos ou de leito fluidizado necessitam de ser apoiados por uma caldeira para o fornecimento de calor. Estas caldeiras por sua vez podem funcionar com diversos tipos de combustível, tais como gasóleo de aquecimento, gás natural, pellets, resíduos de biomassa, entre outros. A escolha do combustível deve ser efectuada de modo a minimizar os seus gastos. Deste modo a escolha deve recair em caldeiras com funcionamento a pellets ou a resíduos de biomassa. O consumo de energia no processo de moagem da biomassa é também significativo. O consumo destes equipamentos pode variar com o tamanho e tipo de biomassa a processar. Outro processo com grande consumo energético é a prensagem da biomassa, onde a biomassa toma a sua forma final, os pellets. As peletizadoras que executam este processo, além de necessitarem de uma grande potência de funcionamento, têm também a necessidade de um fornecimento de vapor de

água. Os restantes equipamentos são essencialmente de transporte, armazenamento e controlo, possuindo estes equipamentos uma baixa potência de funcionamento.

Analisando a potência total instalada numa linha de produção esta pode variar entre 150 kW/ton/h e 250 kW/ton/h. Estes valores foram obtidos com base na informação fornecida por comercializadores e produtores destes equipamentos. Verificou-se também que com o aumento da capacidade de produção a potência requerida por tonelada de produção é menor. As potências referidas podem, no entanto, variar devido à grande variedade de equipamentos existentes no mercado. Os valores indicados da potência instalada correspondem a potência mecânica. Assim, estima-se que o consumo de electricidade pode variar entre 100 kWh/ton e 250 kWh/ton. Relativamente ao consumo de energia térmica para a secagem da matéria-prima, o valor obtido foi de 520 kWh/ton. Este valor foi calculado, considerando que a matéria-prima tem um teor de humidade de 55%. Os custos relativos ao consumo de energia térmica podem também variar, de acordo com o combustível utilizado. Assim, considerando um custo da electricidade de 0,114 €/kWh e um custo da energia térmica que pode variar entre 0,02 €/kWh e 0,07 €/kWh, como apresentado na Tabela 2, é estimado um custo de produção associado ao consumo energético que pode variar entre 30 €/ton/h e 70 €/ton/h. [13][21][66][67]

Relativamente aos custos de manutenção dos equipamentos, estão associadas despesas relativas à substituição de peças de rápido desgaste, substituição de óleos de lubrificação, avarias, entre outras. Estes custos variam com o tipo de equipamento e com o material a ser processado. No entanto, para uma linha de produção de pellets considera-se que os custos de manutenção são aproximadamente 4 €/ton. [21]

8.3 *Análise dos custos associados à distribuição de pellets*

A comercialização dos pellets como produto final passa eventualmente por um sistema de distribuição ao consumidor. Assim os pellets devem chegar ao consumidor de uma forma cómoda e eficaz. Desta forma a distribuição de pellets é efectuada de duas formas distintas, em sacos ou através de camião cisterna. A distribuição em sacos pode ser efectuada directamente ao consumidor ou para superfícies comerciais, onde o consumidor pode ter facilmente acesso. Os sacos de pellets têm um peso compreendido entre 10kg e 40kg de forma a serem de fácil mobilidade para o consumidor. No entanto os pellets podem ser distribuídos em sacos de maior dimensão, podendo ir até as 1000kg de peso. Na Tabela 27 encontram-se representadas estimativas do custo de distribuição de pellets em sacos. Os custos de distribuição são obtidos de acordo com a capacidade que é possível transportar e considerando os vários custos associados. Os custos associados são relativos aos encargos com o motorista, ao consumo energético, à manutenção do veículo e ao embalamento. São considerados para esta estimativa vários veículos para o transporte dos pellets até ao consumidor ou áreas comerciais e um custo médio de embalamento. O custo de embalamento considerado é de 12 Euros por tonelada de pellets. [68]

Tabela 27 – Estimativa para a distribuição de pellets em sacos. [59][64][68]

	Volvo FL	Mercedes Axor-R	Volvo FE	Mercedes Axor-C
Peso bruto (ton)	12	18	26	38
Capacidade de carga (m ³)	30	35	38	45
Potência (kW)	176	205	241	295
Binário (Nm)	800	1020	1200	1400
Consumo (litros/100 km)	18	23	32	40
Manutenção (€/km)	0,20	0,21	0,21	0,21
Motorista (€/km)	0,75	0,75	0,75	0,75
Custo médio de embalagem (€/ton)	12	12	12	12
Custo de distribuição (€/ton. km)	0,14	0,09	0,07	0,05

Assim, para a presente estimativa, considerando o custo médio de entre os vários veículos, obteve-se um valor médio de 0,09 €/ton.km para a distribuição de pellets em sacos. É de salientar, que o custo de distribuição em sacos é acrescido do custo de ensacamento, o que leva a um custo mais elevado do produto final. No Gráfico 8 pode visualizar-se a evolução dos custos de distribuição de pellets acomodados em sacos de acordo com a distância percorrida para entrega, considerando os diferentes veículos utilizados.

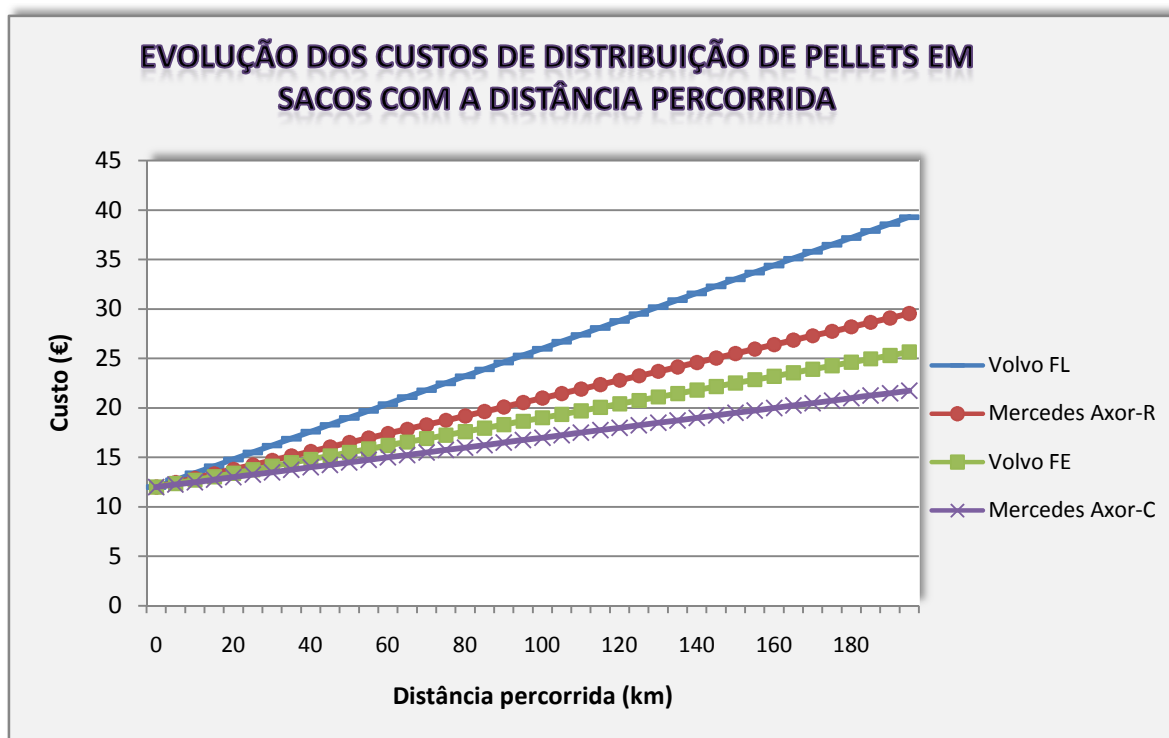


Gráfico 8 – Evolução dos custos de distribuição de pellets em sacos com a distância percorrida.

A distribuição em caminhão cisterna é efectuada directamente ao consumidor final. A distribuição de pellets por este sistema permite que facilmente se efectue o abastecimento de depósitos, normalmente de grande dimensão, que por sua vez irão alimentar os queimadores de pellets. O seu custo associado é tanto maior quanto a distância percorrida para entrega. Na Tabela 28 são apresentadas estimativas para o custo de distribuição de pellets. Para a presente estimativa são utilizados vários veículos de distribuição com diferentes características e capacidades de transporte. Os custos de distribuição são obtidos tendo em conta a capacidade que é possível transportar e considerando os vários custos que advêm do seu transporte. Estes custos são referentes aos encargos com o condutor, ao consumo energético e à manutenção do veículo de distribuição.

Tabela 28 - Estimativa dos custos de distribuição com caminhão cisterna. [58][59][65]

	Renault Midlum 220	Renault Midlum 280	DAF LF55	Volvo FM
Peso bruto (ton)	12	18	28	32
Capacidade de carga (m ³)	8	12	21	23
Potência (kW)	160	205	210	280
Binário (Nm)	800	1050	1020	1000
Consumo (litros/100 km)	16	22	32	37
Manutenção (€/km)	0,20	0,21	0,21	0,21
Motorista (€/km)	0,75	0,75	0,75	0,75
Custo de distribuição (€/ton. km)	0,12	0,09	0,07	0,06

Na estimativa apresentada, o custo de distribuição de pellets com caminhão cisterna tem um custo médio de 0,09 €/ton.km. Como se pode verificar, o preço diminui com o aumento da capacidade de transporte do veículo utilizado. Assim os custos de distribuição podem ser optimizados de acordo com o tipo de veículo utilizado e com a minimização da distância percorrida para entrega. No Gráfico 9 pode visualizar-se a evolução do custo de distribuição de pellets em caminhão cisterna de acordo com a distância percorrida.

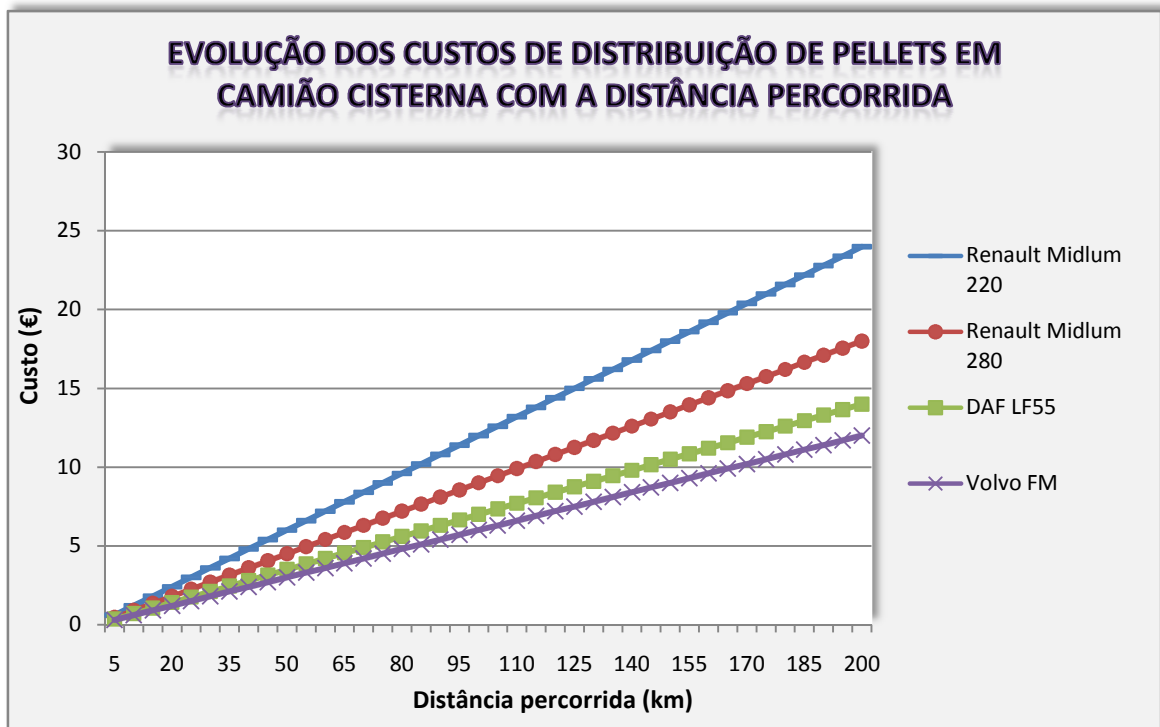


Gráfico 9 – Evolução dos custos de distribuição de pellets em camião cisterna com a distância percorrida.

Estes dois sistemas de distribuição de pellets quando comparados, revelam que a distribuição utilizando camião cisterna permite que o seu custo seja mais reduzido. Isto justifica-se pelo facto de se evitar os gastos de embalagem e pela grande quantidade de pellets transportados pelo camião cisterna. Assim, a distribuição por camião cisterna além de chegar ao consumidor a um preço mais reduzido oferece uma maior comodidade pois os pellets são directamente depositados no alimentador das caldeiras.

9 Desenvolvimento de uma ferramenta de análise e projecto conceptual

Para complementar o presente trabalho do ponto de vista da análise económica da fábrica de produção de pellets e também para posterior aplicação noutros casos de estudo, foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo. A ferramenta desenvolvida passa por alguns pontos essenciais de análise, a matéria-prima, o funcionamento da fábrica, o plano de investimentos, a distribuição de pellets, o plano de vendas, o financiamento e a análise económica.

9.1 Matéria-prima

Na análise da recolha de matéria-prima, os seus custos são obtidos em função da sua proveniência e das diferentes tarefas de recolha. As tarefas consideradas são a recolha no local, o estilhaçamento e o transporte tendo em consideração a distância percorrida e o teor de humidade dos resíduos. Nesta secção é pedido ao utilizador que defina as quantidades de matéria-prima disponível nas várias proveniências, os custos associados a cada tarefa e as distâncias a que se procede a recolha. Assim, são obtidos os custos relativos à matéria-prima apresentados de acordo com o seu peso na base seca e a quantidade total de matéria-prima que se consegue obter também na sua base seca. Na Figura 29 está representada a secção da ferramenta de cálculo referente à análise dos custos da matéria-prima.

Análise da recolha de matéria-prima					
Proveniência da matéria-prima					
Resíduos florestais lenhosos			Valores de referência	Peso na base seca (Ton)	Percentagem da matéria-prima
Quantidade disponível para aproveitamento (ton / ano)		280000		176100,6	84%
Quantidade de humidade contida nos resíduos (%)		59%	59%		
Custos de recolha na floresta (€ / ton)		14,5	14,50		
Custo de estilhaçamento (€ / ton)		5,05	5,00		
Distância mínima percorrida na recolha (km)		100	10		
Distância máxima percorrida na recolha (km)		50	66		
Custo de transporte (€ / ton km)		0,24	0,24		
Resíduos industriais			Valores de referência	Peso na base seca (Ton)	Percentagem da matéria-prima
Quantidade disponível para aproveitamento (ton / ano)		50000		34482,8	16%
Quantidade de humidade contida nos resíduos (%)		45%	45%		
Custos de recolha (€ / ton)		12	12,00		
Custo de estilhaçamento ou compactação (€ / ton)		2	1,50		
Distância mínima percorrida na recolha (km)		100	5		
Distância máxima percorrida na recolha (km)		50	80		
Custo de transporte (€ / ton km)		0,2	0,20		
Plantações dedicadas			Valores de referência	Peso na base seca (Ton)	Percentagem da matéria-prima
Quantidade disponível para aproveitamento (ton / ano)		0		0,0	0%
Quantidade de humidade contida nos resíduos (%)		59%	59%		
Custos de recolha na floresta (€ / ton)		12	13,00		
Custo de estilhaçamento (€ / ton)		6	6,00		
Distância mínima percorrida na recolha (km)		36	10		
Distância máxima percorrida na recolha (km)		10	80		
Custo de transporte (€ / ton km)		0,24	0,24		
Quantidade disponível de resíduos na sua base seca (Ton / ano)		210583,39			
Custo médio de recolha de matéria-prima (€ / Ton)		14,12 €			
Custo médio de estilhaçamento e compactação (€ / Ton)		4,59 €			
Custo mínimo de transporte (€ / Ton)		23,39 €			
Custo máximo de transporte (€ / Ton)		11,70 €			
Custo mínimo da matéria-prima à porta da fábrica por tonelada (€ / ton)		42,10 €			
Custo máximo da matéria-prima à porta da fábrica por tonelada (€ / ton)		30,41 €			
Pressupostos					
Custo da matéria-prima					
Capacidade de produção					
Plano de investimento					
Vendas e financiamento					
VAL &					

Figura 29 – Secção da ferramenta de cálculo referente à análise dos custos de matéria-prima.

9.2 Produção

Uma das secções da ferramenta de cálculo é relativo à análise dos custos de funcionamento da fábrica e à escolha da capacidade de produção. A análise dos custos de funcionamento é efectuada em função dos custos de mão-de-obra, do seu consumo energético e dos custos de manutenção. O utilizador, nesta secção da ferramenta tem a possibilidade de analisar os custos de funcionamento para diferentes capacidades de produção e compará-los de acordo com o número de turnos de actividade. Além disso são ainda apresentadas estimativas do investimento necessário para os equipamentos e da área requerida para a instalação da fábrica. Assim, nesta secção da ferramenta de cálculo é definida a capacidade de produção, o número de turnos em que irá laborar e o seu custo de funcionamento. De salientar, que a ferramenta não permite que a quantidade produzida exceda a quantidade de matéria-prima disponível. É apresentada na Figura 30 parte da secção da ferramenta de cálculo referente à análise dos custos de funcionamento e à escolha da capacidade de produção.

Custos de produção de pellets para funcionamento em 3 turno			
Capacidade de produção (ton / h)	20		
Horas anuais de funcionamento	5808		
Capacidade anual de produção (ton)	116160		
	Quantidade	Salário médio mensal	Gastos anuais
Custos de mão de obra (€)			
Encargos de operários não qualificados	7	900,00 €	226.800,00 €
Encargos de operários qualificados	2	1.200,00 €	86.400,00 €
Encargos de dirigentes técnicos	1	1.700,00 €	61.200,00 €
Seguros	10	50,00 €	18.000,00 €
Outros			0,00 €
	Quantidade	Unidade	Custo unit.
Custos de produção (€)			
Estimativa da potência necessária	2095	kW	
Consumo de energia eléctrica por hora	3500	kWh	0,10 €
Consumo de pellets por hora	10400	ton	0,03 €
Consumo de água por hora	90	m³	1,10 €
Consumo de combustíveis por hora	45	litros	0,84 €
Consumo de gás por hora		m³	0,00 €
Manutenção de equipamentos por hora	1	€	210,00 €
Custos totais de produção (€)			6251510,40
Custos de produção por tonelada (€ / ton)			53,82
Custos por tonelada para o diferente número de turnos (€/ton)	1 Turno	52,84 €	4.916.000,00 €
	2 Turnos	53,01 €	5.068.000,00 €
	3 Turnos	53,82 €	5.220.000,00 €
Escolha o número de turnos de laboração pretendidos			1

Estimativa para o custo da linha de produção (€)	5.220.000,00 €
Estimativa para o custo dos equipamentos de recolha (€)	2.580.000,00 €
Estimativa para o custo de veículos de distribuição (€)	688.355,56 €
Estimativa da área necessária para a fábrica (m²)	16420

	Custos de produção (€/ton)	Estimativa de custo da linha de produção
1 Turno	52,84 €	4.916.000,00 €
2 Turnos	53,01 €	5.068.000,00 €
3 Turnos	53,82 €	5.220.000,00 €

Escolha o número de turnos de laboração pretendidos		1
---	--	---

[Pressupostos](#) /
 [Custo da matéria-prima](#) /
 [Capacidade de produção](#) /
 [Plano de investimento](#) /
 [Vendas e financiamento](#) /
 [VAL & TIR](#) /
 [Resultados](#)

Figura 30 - Secção da ferramenta de cálculo referente à análise dos custos de funcionamento e à escolha da capacidade de produção.

9.3 Investimentos e distribuição

Nesta secção da ferramenta são definidos todos os investimentos necessários para a implementação da fábrica de produção de pellets. Os investimentos referidos são relativos a terrenos e infra-estruturas, equipamentos para a linha de produção, veículos de recolha e transporte, projecto, licenças, entre outros. Os investimentos podem ser definidos não só no ano de implementação mas também ao longo dos anos de operação. São também analisados os custos de distribuição de pellets, considerando a distribuição em sacos ou a granel com camião cisterna. Os custos de distribuição são calculados em função do custo de transporte e das distâncias percorridas para entrega.

9.4 Vendas

Com as secções anteriormente definidas todos os custos são agregados e obtêm-se o custo dos pellets. Numa secção posterior é então definido o plano de vendas, onde é seleccionada a quantidade de pellets que se pretende vender e a margem de lucro a praticar, assim como outros custos associados às vendas. Como se pode visualizar na Figura 31.

Fábrica de produção de pellets

Plano de venda e plano de financeiro

(Valores monetário em Euros)

Margem comercial de lucro pretendida (%)

35%

VAL - Valor actualizado líquido (10 Anos)	283.443,34 €
TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (10 Anos)	6,59%
Preço dos Pellets em sacos	182,16 €
Preço dos pellets em camião cisterna	161,21 €
Investimento no ano zero	10.389.000,00 €
Anos para retorno de investimento	6,6

Plano de vendas

	Anos												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Capacidade de produção (ton)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Porcentagem da produção a vender (%)	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Vendas (Ton / ano)	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00	36784,00
Técnico de vendas e publicidade (€)	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00						
Preço de venda de pellets distribuídos em sacos e IVA (€ / ton)	182,16	186,90	191,76	196,74	201,86	207,11	212,49	218,02	223,68	229,50	235,47	241,59	247,87
Preço de venda de pellets distribuídos por camião e IVA (€ / ton)	161,21	165,13	169,73	174,15	178,68	183,32	188,09	192,98	197,99	203,11	208,12	213,81	219,10
Valor das vendas (€)	6313832,12	6480064,27	6648345,94	6821408,14	6998764,75	7180732,63	7367431,68	7558984,90	7755518,51	7957161,99	8164048,20	8376313,46	8594097,61

Figura 31 - Secção da ferramenta de cálculo referente ao plano de vendas.

9.5 Financiamento e análise económica

É ainda definido o plano de financiamento, onde é determinada a proveniência do capital necessário para o investimento, e calculado o valor de juros a pagar, se for esse o caso. Nesta mesma secção são visíveis, todos os fluxos monetários resultantes da actividade da unidade de produção e dos investimentos requeridos. São então definidos, os rendimentos e o cash-flow da unidade. De acordo com os fluxos monetários definidos, são calculados os indicadores económicos de viabilidade, nomeadamente, o valor actual

líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o período de retorno de investimento (PRI). Estes indicadores económicos são analisados para diferentes anos de laboração da unidade de produção e também considerando variações no preço de venda do produto final.

Existe ainda uma secção dedicada à apresentação de resultados. No entanto, em todas as secções da ferramenta é possível visualizar os resultados finais mais importantes, permitindo desta forma, observar espontaneamente as alterações que os resultados vão sofrendo.

Assim, a ferramenta desenvolvida permite controlar todas as variáveis referentes a uma fábrica de produção de pellets. Pode-se desta forma obter facilmente factores de viabilidade, custos associados, preços de venda e lucros esperados. Além disso é possível prever espontaneamente que implicações podem causar alteração de parâmetros da fábrica.

10 Dimensionamento de uma unidade de produção de pellets

10.1 Análise económica da fábrica de produção de pellets

10.1.1 Plano de investimento para a fábrica de produção de pellets

Para a implementação de uma fábrica de produção de pellets há necessidade de se proceder a vários investimentos. O investimento necessário passa pela compra de terreno e construção de infra-estruturas, equipamentos de produção e sua instalação, ferramentas e utensílios. Há ainda a necessidade do investimento em equipamentos de recolha e transporte de matéria-prima e veículos de distribuição de pellets se for essa a opção do transformador.

10.1.1.1 Investimento em terreno e infra-estruturas

O terreno necessário para a implementação da fábrica de produção de pellets divide-se em três partes essenciais. Uma área para o armazenamento de matéria-prima que permita o abastecimento contínuo da linha de produção. Uma área para a instalação dos equipamentos da linha de produção. E por fim, uma área para o armazenamento dos pellets antes de se proceder à sua distribuição. Com o aumento da capacidade de produção da fábrica, as suas áreas constituintes são também maiores. No entanto, relativamente às áreas de armazenamento, estas podem variar de acordo com o fluxo de entrada e saída de matéria-prima e pellets respectivamente. Para a instalação dos equipamentos da linha de produção a área necessária está compreendida entre 150 m²/ton/h e 500 m²/ton/h. [13][15][21] Estes valores foram obtidos com base em fornecedores de equipamentos.

Contudo a área não aumenta de forma linear com o aumento da capacidade de produção, visto que o número de equipamentos para produções diferentes pode ser praticamente o mesmo.

Relativamente a infra-estruturas estas são requeridas para a área de instalação dos equipamentos que é a apresentada anteriormente e para a área de armazenamento de pellets. A área de armazenamento de matéria-prima necessita de uma área asfaltada com cobertura.

10.1.1.2 Investimento em equipamentos constituintes da linha de produção de pellets

Os equipamentos constituintes da linha de produção de pellets representam o ponto mais importante na fábrica de pellets. Estes equipamentos devem ser escolhidos tendo em consideração o tempo diário de funcionamento da fábrica assim como o tempo de vida dos equipamentos, a capacidade de produção, a qualidade do produto final, custos, entre outros. Deste modo, o investimento deve ser efectuado em equipamentos com boa qualidade, tendo boa resistência para o funcionamento em modo contínuo e o seu tempo de vida deve-se encontrar dentro do pretendido.

A capacidade de produção deve ser escolhida considerando sempre a matéria-prima disponível. No entanto é importante ter algumas considerações no investimento. Uma linha de produção de pequena escala envolve um maior investimento relativamente à quantidade produzida do que uma linha de produção de grande escala. Relativamente ao custo de operação uma linha de pequena escala implica também custos de operação mais elevados que uma de grande escala. A mão-de-obra necessária para a uma fábrica de grande escala é idêntica a uma de pequena escala, o que implica custos similares de laboração. Além disso, a potência instalada numa linha de pequena escala é também mais elevada por quantidade produzida do que uma linha de produção de grande escala.

Assim a potência instalada numa linha de produção de pellets pode variar entre 150 kW/ton/h e 250 kW/ton/h. Respectivamente ao investimento necessário, este pode variar entre 660 000 €/ton/h e 260 000 €/ton/h. [13][21][6][67] Sendo que o investimento requerido por quantidade produzida diminui com o aumento da capacidade de produção.

10.1.1.3 Investimento em veículos de recolha e distribuição

Para se proceder à recolha de matéria-prima há necessidade de investimento em equipamento adequado para o efeito. Para se proceder à recolha de matéria-prima na floresta são necessários equipamentos de recolha dos resíduos florestais, de estilhaçamento e de transporte. Para a recolha de resíduos industriais, por norma não existe a necessidade

de estilhaçamento, visto os resíduos serem normalmente de pequena dimensão. A quantidade de veículos necessários para esta operação é muito variada, sendo tanto maior quanto maior a capacidade diária de produção da fábrica. No entanto, esta operação de obtenção de matéria-prima pode ser efectuada por entidades subcontratadas, estando a fábrica sujeita aos preços por elas praticados.

Por outro lado, os veículos de distribuição de pellets são essenciais para uma eficaz entrega de pellets ao consumidor ou a áreas comerciais. De igual forma, no caso da recolha de matéria-prima, a quantidade de veículos necessária é extremamente dependente da capacidade de produção da fábrica. Os tipos de veículos utilizados para a distribuição de pellets podem ser camiões cisterna, para distribuição a granel, ou camiões de carga, para a distribuição de pellets em sacos.

Assim, o investimento necessário para a recolha e distribuição pode ser muito variada dependendo da quantidade a ser recolhida e dos tipos de equipamentos seleccionados.

10.1.2 Plano de vendas

O planeamento das vendas é um ponto de elevada importância pois este é que vai ditar a viabilidade da fábrica de produção de pellets. Assim o plano de vendas aborda vários pontos de forma a se obter bons resultados financeiros. A determinação de todo o mercado consumidor e as suas características são um ponto essencial. O conhecimento destas necessidades melhora as previsões de vendas e aumenta a eficiência na distribuição. É ainda definida a percentagem de lucro pretendida e o potencial de facturação tendo sempre em consideração que o produto deve-se manter competitivo no mercado. O potencial mercado consumidor de pellets foi já anteriormente apresentado e trata-se de uma forma geral da população residente nos distritos de Aveiro e Coimbra, dos edifícios públicos e algumas indústrias também existentes nestes distritos. O mercado consumidor pode no entanto ser alargado a outros destinos devido à grande densidade dos pellets e ao seu fácil transporte.

10.1.3 Indicadores económicos de viabilidade, valor actual líquido (VAL), taxa interna de rentabilidade (TIR) e período de retorno do investimento (PRI)

Neste item são apresentados o valor actual líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o período de retorno de investimento (PRI). O VAL é o valor actual

do investimento baseado numa taxa de actualização d_t e nos fluxos monetários líquidos (cash-flow), F_t , num determinado período t , como se apresenta na equação 5.

$$VAL = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1 - d_t)^t} \quad (5)$$

O TIR representa a taxa de rentabilidade gerada pelo investimento, trata-se portanto de uma taxa d' que quando aplicada à equação 5, faz com que esta se iguale a zero. Pode dizer-se que o TIR é a taxa mais elevada a que o investidor pode contrair empréstimo para financiar o investimento, sem perder dinheiro.

$$\sum_0^N \frac{F_t}{(1 + d')^t} = 0 \quad (6)$$

O período de retorno de investimento é o tempo necessário para a recuperação do investimento efectuado. Trata-se portanto, do tempo para que a soma dos fluxos monetários seja maior que zero. O período de retorno de investimento é obtido pela equação 7, onde I representa o investimento efectuado, n o número de anos em análise e F_t o cash-flow no ano t .

$$PRI = n * \frac{I}{\sum_{t=1}^n F_t} \quad (7)$$

11 Caso de estudo de implementação de uma unidade de produção de pellets

11.1 Estrutura de custos e consumos médios associados à produção de pellets

Neste item são apresentados os custos e consumos médios anteriormente calculados, associados à produção de pellets. Os custos apresentados são relativos a custos da matéria-prima, custos de produção e custos de distribuição, (Tabela 29).

Tabela 29 – Estrutura de custos e consumos médios associados à produção de pellets

	Operações	Custos e consumos
Matéria-prima	Estilhaçamento	5,05 €/ton
	Recolha na floresta	14,51 €/ton
	Transporte forma primária	0,61 €/ton.km
	Transporte estilha	0,24 €/ton.km
Produção	Mão-de-obra	2 - 4 €/ton
	Consumo energia térmica	520 kWh/ton
	Consumo energia eléctrica	100-250 kWh/ton
	Manutenção	4 €/ton
Distribuição	Embalamento	12 €/ton
	Transporte de sacos	0,09 €/ton.km
	Transporte camião cisterna	0,09 €/ton.km

11.2 Estudo de viabilidade de unidades de produção de pellets em função do custo da matéria-prima.

A viabilidade económica de uma fábrica de produção de pellets é extremamente dependente do custo da matéria-prima. Assim, é importante efectuar uma análise sobre o peso que o preço da matéria-prima exerce sobre a viabilidade de uma fábrica de produção de pellets. A distância percorrida para a recolha de biomassa é um dos factores com mais influência no custo da matéria-prima, isto devido aos custos de transporte. Assim, esta análise é efectuada de modo a obter o período de retorno de investimento das unidades de produção, em função do preço da matéria-prima numa determinada origem e os seus custos de transporte. São ainda identificados os raios de acção que não satisfazem a unidade de produção em termos de disponibilidade de biomassa. Deste modo, para a presente análise são consideradas várias capacidades de produção com um turno de funcionamento, ou seja, 1936 horas de funcionamento anuais. É também tido em conta o preço médio dos pellets praticado actualmente no mercado. Os preços considerados foram de 160 € quando distribuídos em camião cisterna e de 180 € quando distribuídos em sacos. Na Tabela 30, podem visualizar-se os períodos de retorno de investimento para várias capacidades de produção em função do preço da matéria-prima e do custo de transporte na sua forma primária. De salientar, que ao preço da matéria-prima é associado o custo de estilhaçamento que é posteriormente efectuado na unidade de produção. De igual forma, mas considerando a matéria-prima em forma de estilha, são apresentados na Tabela 31, os períodos de retorno de investimento para várias capacidades de produção em função do preço da matéria-prima e do seu custo de transporte em forma de estilha. A presente análise foi realizada com o auxílio da ferramenta de cálculo desenvolvida.

Tabela 30 – Período de retorno de investimento em função do preço da matéria-prima e do custo de transporte na sua forma primária

Capacidade de produção	Preço da matéria-prima na origem + custo de estilhaçamento (€)	Distância ao ponto de recolha (km)	Período de retorno de investimento (Anos)
1 ton/h	20 €	5	7,7
		10	8,8
		20	12,1
		30	19,8
	25 €	5	8,6
		10	9,9
		20	14,9
		30	28,3
	30 €	5	9,7
		10	11,7
		20	18,5
		30	49,1
5 ton/h	20 €	5	5,9
		10	6,7
		20	9,0
		30	14,4
	25 €	5	6,5
		10	7,5
		20	10,6
		30	18,7
	30 €	5	7,3
		10	8,7
		20	13,5
		30	30,7
10 ton/h	20 €	5	4,6
		10	5,1
		20	6,4
		30	8,8
	25 €	5	5,0
		10	5,5
		20	7,2
		30	10,5
	30 €	5	5,4
		10	6,1
		20	8,3
		30	13,4
20 ton/h	20 €	5	4,5
		10	4,9
		20	6,1
		30	8,1
	25 €	5	4,8
		10	5,3
		20	6,8
		30	9,6
	30 €	5	5,3
		10	5,9
		20	7,7
		30	11,6

Tabela 31 - Período de retorno de investimento em função do preço da matéria-prima e do custo de transporte em forma de estilha.

Capacidade de produção	Preço da matéria-prima na origem em forma de estilha (€)	Distância ao ponto de recolha (km)	Período de retorno de investimento (Anos)
1 ton/h	20 €	20	8,3
		30	9,2
		40	10,5
		50	12,0
	25 €	20	9,4
		30	10,6
		40	12,3
		50	14,4
	30 €	20	10,7
		30	12,4
		40	14,6
		50	18,1
5 ton/h	20 €	20	6,4
		30	6,9
		40	7,9
		50	8,9
	25 €	20	7,1
		30	8,0
		40	9,1
		50	10,7
	30 €	20	8,0
		30	9,2
		40	10,8
		50	13,0
10 ton/h	20 €	20	4,8
		30	5,2
		40	5,7
		50	6,3
	25 €	20	5,3
		30	5,8
		40	6,4
		50	7,2
	30 €	20	5,9
		30	6,5
		40	7,3
		50	8,3
20 ton/h	20 €	20	4,7
		30	5,1
		40	5,5
		50	6,1
	25 €	20	5,1
		30	5,6
		40	6,1
		50	6,7
	30 €	20	5,6
		30	6,2
		40	6,8
		50	7,7

Com os valores obtidos é possível estabelecer de acordo com o período de retorno de investimento esperado, o preço máximo a pagar pela matéria-prima e a distância máxima a percorrer para a sua recolha, quer na sua forma primária quer em forma de estilha. De entre os resultados obtidos, os valores marcados a sombreado são referentes a casos em que se obteve um deficit de matéria-prima. Uma vez de acordo com o raio de acção e com a capacidade de produção definidos não existe matéria-prima suficiente para responder à capacidade de produção da unidade. A matéria-prima disponível num determinado raio de acção é calculada de acordo com a sua densidade média tendo como base os valores obtidos anteriormente (Gráfico 3). Isto implica que para a capacidade de produção em questão a área de acção para proceder à recolha de matéria-prima necessita de ser mais alargada.

Como se verifica em ambos os casos analisados com o aumento da capacidade de produção há uma diminuição do período de retorno de investimento. Isto justifica-se pela redução dos custos de produção e pelo custo requerido de investimento por tonelada de capacidade instalada, com o aumento da capacidade de produção. Assim, para os mesmos custos da matéria-prima é possível obter períodos de retorno mais reduzidos para capacidades de produção mais elevadas. Verifica-se também, que a variação do custo da matéria-prima causa mais instabilidade em unidades de produção com baixa capacidade, o aumento do preço da matéria-prima implica grandes alterações no período de retorno de investimento. De entre as várias capacidades de produção, verifica-se que com o seu aumento, os períodos de retorno de investimento tendem a aproximar-se. Este facto é devido à menor diferença verificada entre os custos de produção.

11.3 Definição da capacidade de produção da fábrica de produção de pellets

Os valores obtidos da disponibilidade de resíduos de biomassa para os distritos de Aveiro e Coimbra foram de 127 820 ton secas / ano e 99 009 ton secas / ano respectivamente, como anteriormente apresentado no Gráfico 3. Considerando a instalação de uma capacidade de produção de 10 ton/h, com um turno de funcionamento, esta tem uma produção anual de 19 360 ton/ano. Com base na localização geográfica de implementação da fábrica de produção, para a recolha desta quantidade de matéria-prima calculou-se a necessidade de actuar num raio de acção de 20 km.

Sabendo que a fábrica de produção pode laborar até um máximo de três turnos de oito horas cada. De acordo com a quantidade de pellets produzida anualmente 19 360 ton/ano, definem-se três capacidades de produção diferentes para a mesma produção anual. Deste modo efectua-se uma comparação económica para diferentes capacidades de produção variando, desta forma, o tempo de funcionamento de maneira a que a quantidade produzida ao longo do ano seja equivalente. Assim, as capacidades de produção a utilizar

serão de 10 ton/h com um turno de funcionamento, 5 ton/h com dois turnos de funcionamento e 3,5 ton/h com três turnos de funcionamento.

11.4 Resultados

11.4.1 Investimento necessário para as várias capacidades de produção

Na Tabela 32 são apresentados os investimentos necessários para as capacidades de produção consideradas.

Tabela 32 – Plano de investimento necessário para as várias capacidades de produção. [13][21][67][66][68]

Tipo de bens a investir	Investimento 10 ton/h	%	Investimento 5 ton/h	%	Investimento 3,5 ton/h	%
Terrenos e recursos naturais	932000	17,7	792000	20,5	670000	20,9
Edifícios e outras construções	120000	2,3	100000	2,6	90000	2,8
Licenças e projecto	10000	0,2	10000	0,3	10000	0,3
Equipamentos linha de produção	2900000	55,0	1650000	42,7	1120000	35,0
Equipamentos de recolha e estilhaçamento	680000	12,9	680000	17,5	680000	21,2
Instalação de equipamentos	18000	0,3	18000	0,5	18000	0,6
Veículos de transporte da matéria-prima	360000	6,8	360000	9,3	360000	11,2
Veículos para distribuição	240000	4,5	240000	6,2	240000	7,5
Outros gastos	15000	0,3	15000	0,4	15000	0,5
Total	5.275.000,00 €		3.865.000,00 €		3.203.000,00€	
Total (€/ton/h)	527.500,00 €/ton/h		773.000,00 €/ton/h		915.142,00 €/ton/h	

O investimento necessário para a instalação da fábrica de produção com capacidade de 10 ton/h é bastante mais elevado quando comparada com as restantes capacidades de produção. As capacidades de 5 ton/h e 3,5 ton/h apresentam uma diferença bastante mais reduzida entre si para os investimentos exigidos. Quando comparados os custos de investimento por tonelada de produção instalada, verifica-se que quanto maior a capacidade de produção menor o investimento exigido. É importante também salientar, que a capacidade de 3,5 ton/h encontra-se no seu limite de produção, pois labora durante três turnos, ao contrário das restantes capacidades que podem ampliar o tempo de laboração aumentando o número de turnos de funcionamento.

O investimento necessário para a implementação da fábrica de produção de pellets pode vir de várias fontes, de capital próprio, de subsídios ou de empréstimos realizados.

11.4.2 Custos de funcionamento da fábrica de produção

O funcionamento da fábrica de produção de pellets tem vários custos associados. Estes custos dividem-se em três partes essenciais: os custos da matéria-prima, os custos de produção e os custos de distribuição de pellets.

Para os custos da matéria-prima são considerados os valores médios obtidos anteriormente para a recolha e estilhaçamento, sendo o transporte efectuado com a matéria-prima em forma de estilha.

Os custos de produção são relativos à mão-de-obra, consumos energéticos e manutenção de equipamentos. A produção de pellets é efectuada até um máximo de três turnos diários de oito horas cada. Considera-se portanto um total de 1936 horas anuais por cada turno de funcionamento. Os custos de produção, mão-de-obra, consumo energético e manutenção, para as diferentes capacidades de produção são apresentados em seguida:

- Para uma capacidade de produção de 10 ton/h é requerida uma potência média para os equipamentos de produção de 1400 kW. Estes equipamentos por sua vez necessitam de uma manutenção de 4 € por cada tonelada de pellets produzida. Relativamente à mão-de-obra são necessários 5 operários para a linha de produção, 1 gerente, 1 empregado administrativo e 1 técnico de produção. Deste modo para a totalidade da mão-de-obra é necessário um valor de 8650 €/ mês. De salientar que o tempo de laboração considerado é de 1936 horas anuais.
- Para a capacidade de produção de 5 ton/h funcionando em dois turnos, que equivale a 3872 horas anuais. A potência média requerida para os equipamentos da linha de produção é de 730 kW. A manutenção requerida é de igual forma de 4 € por cada tonelada produzida. A mão-de-obra necessária é de 1 empregado administrativo para laborar em apenas um turno, para cada um dos turnos são necessários 3 operários, 1 gerente e 1 técnico de produção. Assim os encargos em mão-de-obra são de 12400 €/mês.
- Para a capacidade de produção de 3,5 ton/h que funciona em três turnos, que corresponde a 5808 horas anuais. A potência média necessária é de 570 kW. Os custos de manutenção são de 4 € por tonelada de pellets. A mão-de-obra necessária é de 1 empregado administrativo para apenas um turno, para cada um dos três turnos são necessários 3 operários, 1 gerente e 1 técnico de produção. Os custos de mão-de-obra são assim de 18000 €/mês. [13][21][66][67]

Na Tabela 33 são apresentados de forma sintetizada os custos de produção atrás descritos para as várias capacidades de produção. São ainda definidos os custos de

iluminação e do consumo energético de outros equipamentos, seguros e outros gastos relativos ao funcionamento da fábrica de produção.

Tabela 33 – Custos de produção para as várias capacidades de produção.

Tipos de custos	Custos de produção para 10 ton/h (€/ton)	Custos de produção para 5 ton/h (€/ton)	Custos de produção para 3,5 ton/h (€/ton)
Mão-de-obra	4,90	7,00	10,23
Consumo energético da linha de produção	38,40	41,26	42,10
Manutenção	4,00	4,00	4,00
Iluminação e outros equipa.	0,5	1,10	1,70
Seguros	0,30	0,30	0,30
Comunicações	0,25	0,25	0,25
Outros gastos	3,00	3,00	3,00
Total (€/ton)	51,35 €	56,91 €	61,58 €

Os custos de funcionamento da fábrica de produção de pellets são maiores para as capacidades de funcionamento menores. Verifica-se essencialmente que os custos de mão-de-obra, assim como os consumos energéticos são mais elevados para as capacidades de produção mais pequenas.

Os custos de recolha da matéria-prima já anteriormente definidos são iguais para as três capacidades de produção, visto a quantidade produzida anualmente ser aproximadamente a mesma. De acordo com os cálculos efectuados os custos médios de recolha na floresta são de 14,51 € e para o estilhaçamento 5,05 €. Relativamente ao transporte, este tem um custo médio de 0,61 €/ton.km para os resíduos na sua forma primária e 0,24 €/ton.km na forma de estilha. Os valores apresentados são para peso com um teor de humidade de 8%. Como anteriormente definido, a distância necessária para a recolha da quantidade necessária para a fábrica de produção é de 20 km. De salientar, que se considera que o transporte da matéria-prima é efectuado na forma de estilha e o preço da matéria-prima é igual ao seu custo de recolha. De acordo com a Tabela 31 do estudo de viabilidade em função do custo da matéria-prima, verifica-se que há a necessidade de efectuar o transporte em forma de estilha para assegurar a viabilidade da unidade.

Os custos de distribuição de pellets foram de igual forma obtidos anteriormente e trata-se de um custo fixo para as três capacidades de produção definidas. Os custos de distribuição são então de 0,09 €/ton.km para a distribuição de pellets em sacos, acrescido do custo de embalagem de 12 €/ton. E de 0,09 €/ton.km para a distribuição de pellets a granel em camião cisterna.

11.4.3 Plano de vendas

Neste item são definidos os preços de venda pellets. A definição da margem de lucro é efectuada com o auxílio da ferramenta de cálculo desenvolvida. Este valor é obtido de modo que os preços exercidos na venda para as várias capacidades de produção sejam equivalentes e competitivos no mercado actual. Na Tabela 34 são apresentados os valores da margem de lucro para as diferentes capacidades de produção.

Tabela 34 – Margem de lucro e preços de venda para as várias capacidades de produção.

	Capacidade de produção de 10 ton/h	Capacidade de produção de 5 ton/h	Capacidade de produção para 3,5 ton/h
Margem de lucro (%)	51 %	47 %	29 %
Preço de venda em saco (€/ton)	182,50	182,50	182,50
Preço de venda a granel (€/ton)	160,00	160,00	160,00

Com o aumento da capacidade de produção a margem de lucro que se pode praticar é também mais elevada, devido aos menores custos de produção. Assim, uma capacidade de produção de 10 ton/h permite a obtenção de rendimentos mais elevados em relação às restantes capacidades de produção.

11.4.4 Indicadores económicos de viabilidade para a unidade de produção de pellets.

Considerando uma taxa de actualização para o cálculo do VAL de 6 %, efectua-se o cálculo dos indicadores económicos. Para as várias capacidades de produção consideradas são apresentados, o valor actual líquido e a taxa interna de rentabilidade para 5, 7 e 10 anos. É também apresentado o período de retorno de investimento. Assim, são apresentados na Tabela 35 os respectivos indicadores económicos para as três capacidades de produção consideradas.

Tabela 35 – Indicadores económicos de viabilidade, VAL, TIR e PRI.

	Custos de produção para 10 ton/h	Custos de produção para 5 ton/h	Custos de produção para 3,5 ton/h
VAL-5 anos (€)	-780.113,75 €	318.186,79 €	81.285,38 €
TIR-5 anos (%)	0,5 %	8,9 %	6,9 %
VAL-7 anos (€)	845.963,62 €	1.834.742,13 €	1.282.692,52 €
TIR-7 anos (%)	10,2 %	17,8 %	16,0 %
VAL-10 anos (€)	3.110.508,90 €	3.945.905,71 €	2.963.590,83 €
TIR-10 anos (%)	16,6 %	23,2 %	21,7 %
PRI (Anos)	4,8	3,9	4,1

Analisando os valores obtidos, verifica-se que os resultados obtidos apresentam bons indicadores económicos de viabilidade, apresentando períodos de retorno de investimento inferiores a cinco anos. No entanto, é de realçar que a matéria-prima é obtida a preço de custo, o aumento do preço da matéria-prima pode alterar de forma significativa este panorama, como anteriormente verificado. O que apresenta melhores resultados é a capacidade de produção de 5 ton/h, pois apresenta a taxa interna de rentabilidade mais elevada e por consequência o período de retorno de investimento mais reduzido. Como anteriormente verificado, os custos de produção são maiores para as capacidades de produção menores. No entanto, a diferença entre os investimentos requeridos para a capacidade de produção de 10 ton/h e 5 ton/h é bastante elevada, sendo a diferença entre as capacidades de 5 ton/h e 3,5 ton/h bastante menor. O que leva à obtenção de melhores resultados para a capacidade de 5 ton/h.

Como as estimativas anteriormente efectuadas estão sujeitas a erros, e o maior risco encontra-se no investimento necessário para a implementação da fábrica de produção, devido ao elevado valor a investir e a possíveis variações de preços tanto em terrenos e infra-estruturas como em equipamentos. Tendo isso em consideração, efectua-se um novo cálculo para os indicadores económicos de viabilidade considerando um valor 20% mais elevado para o investimento. O resultado desse cálculo é apresentado na Tabela 36.

Tabela 36 - Indicadores económicos de viabilidade, VAL, TIR e PRI com um investimento 20% mais elevado.

	Custos de produção para 10 ton/h	Custos de produção para 5 ton/h	Custos de produção para 3,5 ton/h
VAL-5 anos (€)	-1.835.113,75 €	-456.810,21 €	-560.714,62 €
TIR-5 anos (%)	-5,2 %	2,4 %	0,6 %
VAL-7 anos (€)	-209.036,38 €	1.059.742,13 €	640.692,52 €
TIR-7 anos (%)	5,1 %	11,9 %	10,4 %
VAL-10 anos (€)	2.055.508,9 €	3.170.905,71 €	2.321.590,83 €
TIR-10 anos (%)	12,1 %	18,0 %	16,7 %
PRI (Anos)	5,7	4,6	4,8

Como se pode verificar para a análise efectuada para as várias capacidades de produção apresentam bons indicadores de viabilidade. Os períodos de retorno de investimentos obtidos são relativamente baixos, sendo os valores obtidos inferiores a seis anos. Como se pode verificar, mesmo com um aumento de 20% do valor a investir, os indicadores económicos continuam a indicar a mesma tendência de viabilidade.

Assim, o aumento do número de turnos de funcionamento demonstrou ser economicamente mais atraente quando a diferença entre os investimentos requeridos é elevada, o que se verifica para grandes capacidades de produção. No entanto, o tempo de vida dos equipamentos das unidades de menor capacidade é bastante mais reduzido para a mesma quantidade de produção. Isto devido ao maior número de horas de funcionamento para efectuar a produção desejada.

11.1 Análise e comparação do custo para o consumidor da utilização de pellets em relação a outras fontes de energia

O custo final dos diferentes tipos de energia existentes no mercado é um ponto de elevada importância para o consumidor. Tendo em consideração o poder calorífico dos diferentes combustíveis e o preço praticado actualmente, fez-se uma comparação entre o custo da energia (Gráfico 10).

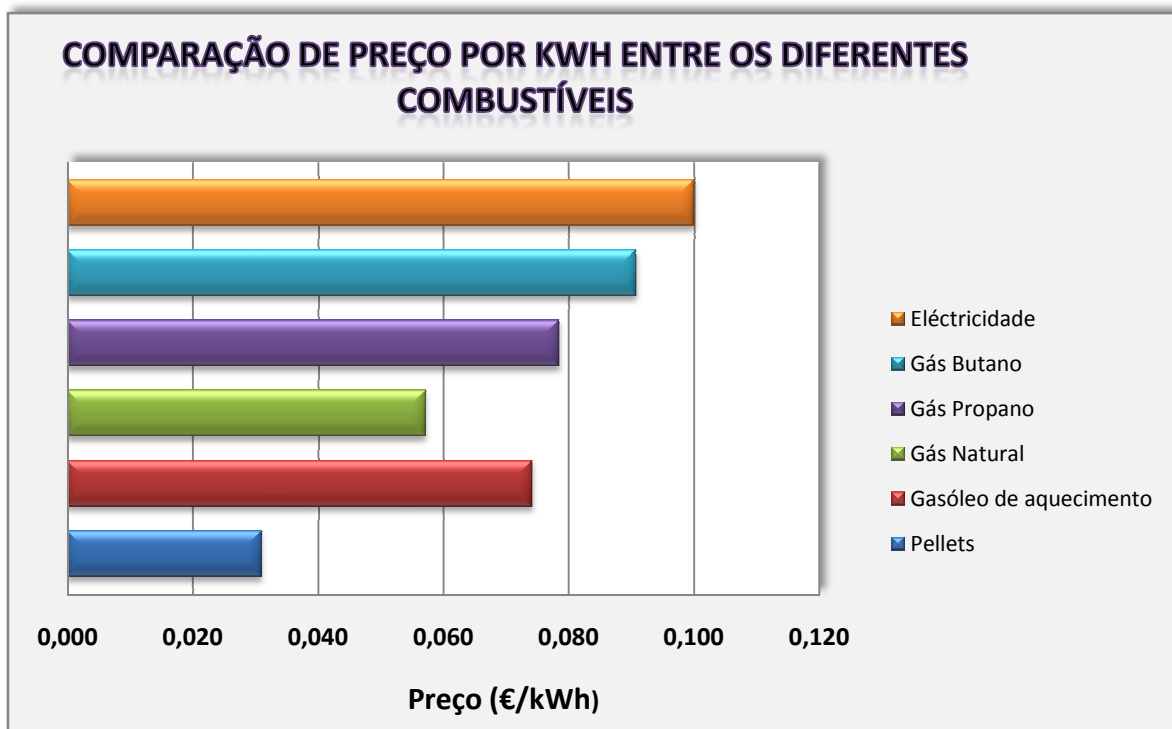


Gráfico 10 – Comparação entre os diferentes tipos de energia tendo em conta o seu custo por unidade de energia.

O preço da energia na forma de pellets é bastante mais atractiva quando comparada com os restantes combustíveis convencionais. Relativamente aos restantes combustíveis o gás natural é o que mais se aproxima do custo dos pellets, seguido do gasóleo de aquecimento, gás propano, gás butano e electricidade. É de salientar, que os equipamentos de queima podem ter diferentes eficiências de funcionamento, resultando num maior aproveitamento da energia. No entanto, foram considerados para a presente comparação equipamentos com o mesmo rendimento.

Para além do custo da energia consumida um consumidor tem ainda que contabilizar o investimento inicial do equipamento para a combustão do combustível. Naturalmente o custo associado aos equipamentos para os vários tipos de combustível é muito variável, sendo que as tecnologias utilizadas são bastante distintas. Hoje em dia os preços praticados nos queimadores de pellets são ainda um pouco elevados em relação aos equipamentos para os restantes combustíveis. Visto tratar-se de uma área em contínuo desenvolvimento e as tecnologias utilizadas serem bastante recentes. Deste modo a rentabilidade da utilização de pellets como fonte de energia é tanto melhor, quanto maior a quantidade de energia requerida para consumo.

De acordo com a quantidade de energia consumida e o investimento exigido para o equipamento, o consumidor pode mais rapidamente recuperar o capital investido e rentabilizar o seu investimento em comparação com os restantes combustíveis convencionais. Efectua-se, portanto, uma comparação entre os três combustíveis com

preços mais competitivos, nomeadamente pellets, gás natural e gásóleo de aquecimento. Considerando os custos actuais do investimento necessário para cada sistema de aquecimento. Procede-se à comparação dos encargos anuais em energia de acordo com a quantidade consumida e a amortização do investimento inicial ao longo de um tempo de vida de dez anos. Na presente comparação é considerado o investimento necessário para equipamentos com potência de 30 kW. Os preços dos equipamentos foram obtidos com recurso a catálogos de fornecedores.[69][70] A comparação é apresentada no Gráfico 11.

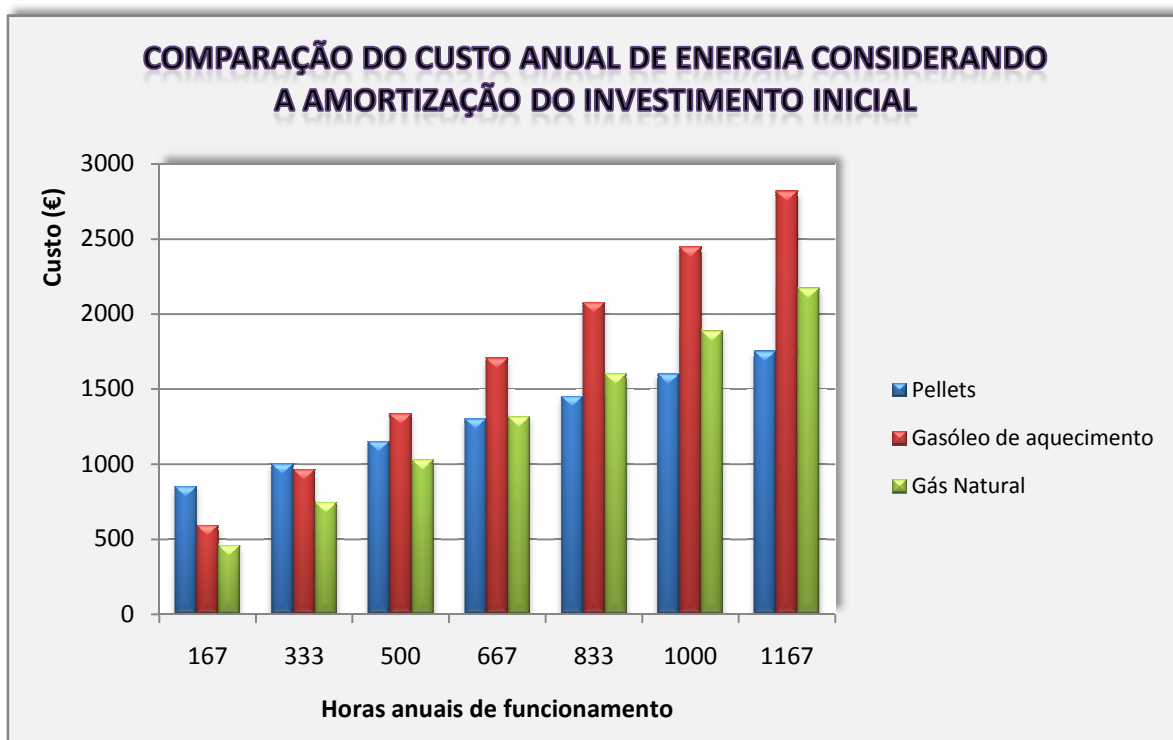


Gráfico 11 - Comparação do encargo anual em energia com a amortização do investimento inicial.

Como se pode observar com a análise do gráfico, para um tempo de funcionamento anual superior a 667 horas que corresponde a 28 dias a trabalhar de forma contínua, a utilização de pellets é mais económica em relação aos restantes combustíveis. De salientar, que a comparação efectuada segue a mesma tendência para os restantes equipamentos existentes. Isto justifica-se pela diferença percentual de preços para as diferentes caldeiras ser semelhante.

12 Conclusões

Com o levantamento do estado actual dos recursos de biomassa em Portugal, concluiu-se que Portugal apresenta uma grande potencial de produção de biomassa, sendo as zonas litoral e central do norte e centro a que apresentam melhor produtividade. É portanto, a zona mais propícia para o aproveitamento de resíduos de biomassa. Verificou-se ainda que os resíduos florestais são na sua maioria resultantes do abate de pinheiro bravo e eucalipto. Relativamente aos resíduos industriais de biomassa, estes são actualmente quase totalmente aproveitados em alguns sectores como o da cortiça e o da pasta de papel. No entanto, apresentam uma boa disponibilidade noutros sectores como o do mobiliário, da serração e carpintaria.

Relativamente ao consumo de resíduos de biomassa para a produção de energia, actualmente em Portugal apenas existem duas centrais termoeléctricas que utilizam os resíduos de biomassa para a produção de energia eléctrica, a Central de Mortágua que se localiza do distrito de Viseu, e a Centroliva, SA, que se localiza no distrito de Castelo Branco. Existem também nove centrais de cogeração instaladas nas indústrias do sector florestal que fazem aproveitamento de biomassa para produção de calor como a Portucel nas suas quatro centrais, Amorim Revestimentos, Stora Celbi, Soporcel, SIAF e Companhia de Celulose do Caima. Estão ainda previstas a implementação de quinze novas centrais termoeléctricas a biomassa florestal, centrais estas que foram lançadas a concurso pelo governo no ano de 2006.

Pela análise efectuada sobre a disponibilidade de resíduos de biomassa, concluiu-se que os distritos de Aveiro e Coimbra apresentam uma boa disponibilidade de resíduos susceptíveis de aproveitamento. O distrito de Viseu apresenta uma baixa disponibilidade, devido aos grandes consumos de biomassa esperados. Assim, o local de implementação da fábrica de produção de pellets foi estrategicamente escolhido entre Aveiro e Coimbra uma vez que esta zona apresenta uma boa disponibilidade de resíduos de biomassa e um bom potencial mercado consumidor. Para estes distritos os valores obtidos para a disponibilidade de matéria-prima, provenientes de resíduos florestais e industriais foram de 127 820,4 ton secas/ano para Aveiro e de 99 009,6 ton secas/ano para Coimbra.

Verificou-se que nos distritos em análise existe um grande potencial para o consumo de pellets, caracterizando-se essencialmente pelo sector doméstico, edifícios públicos e alguns sectores industriais. De acordo com os consumos verificados nestes distritos, verificou-se também que a conquista de uma pequena percentagem de quota do mercado do consumo de gás natural e gasóleo de aquecimento representa uma grande quantidade de consumo de pellets.

Relativamente à matéria-prima, na ausência de diferenças a nível do PCI, verifica-se que os seus custos associados são muito dependentes do custo de transporte. O processo de estilhaçamento dos resíduos, quando efectuado na floresta, diminui de forma significativa os custos de transporte e desta forma permite também o alargamento do raio de acção para

recolha. Verificou-se também que as unidades com menor capacidade de produção são mais sensíveis às alterações do custo dos resíduos de biomassa, o aumento do preço da matéria-prima implica grandes alterações no período de retorno de investimento.

A análise efectuada para os custos de funcionamento de uma linha de produção, permitiu concluir que com o aumento da capacidade de produção os custos por tonelada produzida são mais reduzidos. De igual modo, o investimento requerido por tonelada de produção instalada é também mais reduzido com o aumento da capacidade de produção. Assim, com o aumento da capacidade de produção há uma diminuição do período de retorno de investimento. De entre as várias capacidades de produção analisadas, verifica-se que com o seu aumento, os períodos de retorno de investimento tendem a aproximar-se. Este facto é devido à menor diferença verificada entre os custos de produção e à menor diferença entre os investimentos requeridos por tonelada de produção instalada.

De acordo com a análise realizada para obtenção da mesma quantidade de produção, variando o número de turnos e as capacidades de produção. Concluiu-se que quando se verifica uma grande diferença entre os investimentos requeridos, com o aumento do número de turnos de funcionamento são obtidos melhores resultados de viabilidade. A diferença entre os investimentos requeridos aumenta progressivamente com a capacidade de produção. No entanto, com o aumento de turnos os equipamentos estão sujeitos a um maior desgaste devido ao elevado número de horas de funcionamento, diminuindo desta forma o seu tempo de vida.

Pela análise efectuada sobre a utilização de pellets, verificou-se que do ponto de visto do consumidor, o preço da energia na forma de pellets é bastante mais atractiva quando comparada com os restantes combustíveis convencionais. Sendo o gás natural o que mais se aproxima do custo dos pellets, seguido do gasóleo de aquecimento, gás propano, gás butano e electricidade. Quando considerado o investimento inicial em equipamentos de queima, para um tempo de funcionamento anual superior a 667 horas, a utilização de pellets é mais económica em relação às formas de energia consideradas.

Relativamente à ferramenta de cálculo desenvolvida, esta foi extremamente útil no desenvolvimento do presente trabalho. A ferramenta de cálculo permite o controlo de todas as variáveis referentes a uma unidade de produção de pellets. Obtendo-se facilmente factores de viabilidade, preços de venda e rendimentos esperados. Além disso é possível efectuar a comparação entre diferentes capacidades de produção, analisar os factores de viabilidade de acordo com possíveis alterações do mercado e prever espontaneamente que implicações podem causar alteração de parâmetros da fábrica.

13 Sugestões para trabalhos futuros

Com a existência de alguns assuntos que não foram devidamente desenvolvidos no presente trabalho, devido a grandeza do tema em estudo. Sugere-se o desenvolvimento de alguns trabalhos futuros, dos quais se destacam:

- Efectuar uma análise da quantidade de resíduos de biomassa provenientes da agricultura disponíveis para aproveitamento energético, bem como, uma estimativa dos custos de recolha e de transporte desses resíduos;
- Acrescentar outras funcionalidades à ferramenta desenvolvida, com o intuito de a tornar mais completa, como por exemplo, incluir os custos da matéria-prima proveniente da agricultura, aumentar o número de cenários para posterior comparação, etc;
- Efectuar uma análise dos custos de adaptação de uma caldeira com funcionamento a gásóleo de aquecimento para funcionamento a pellets.
- Alargar o estudo de disponibilidade de resíduos de biomassa a outras zonas do país;
- Analisar os custos de distribuição de pellets com recurso a outros meios de transporte, como comboio ou navio;
- Efectuar a comparação da utilização de pellets com outras fontes de energia renovável;

Bibliografia

- [1] Comissão das Comunidades Europeias. Programa ALTENER. (2004). *Bioenergia – Manual Sobre Tecnologia, Projecto e Instalação*
- [2] Direcção Geral de energia e Geologia. (2007). *Renováveis, Estatísticas Rápidas*.
- [3] Comissão das Comunidades Europeias. (2005). *Comunicado da Comissão, Plano de acção Biomassa*. Bruxelas.
- [4] Eurostat – Statistical books. (2007). *Panorama of Energy – Energy statistics to support EU policies and solutions*.
- [5] Johansson, Thomas B., Kelly, Henry., Reddy, Amulya K. N., Williams, Robert H. (1993). *Renewable Energy – Sources for Fuel and Electricity*. Laurie Burnham.
- [6] Norma ÖNorm M 7135. (2000). Compressed wood or compressed bark in natural state - Pellets and briquettes - Requirements and test specifications.
- [7] Norma DIN 51 731. (1996) DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [8] Norma SS 18 71 20. (1984). *Svensk Standard. Biobränslen-Bestämning av askhalt*
- [9] CarbriCa, Carvões e Madeira. Lda. <http://www.carbrica.pt>. 22 Fevereiro de 2008
- [10] Pelletslar. <http://www.pelletslar.com/?option=5>, 5 de Março de 2008
- [11] Sorensen, Bent. (2004) *Renewable Energy – Its physics, engineering, environment impacts, economics & planning*. Third Edition. ELSEVIER Academic press.
- [12] Energenium - Energias Renováveis e Eficiência Energética, Lda. <http://www.energenium.pt> 6 de Abril de 2008
- [13] AVS Plus, s.r.o. <http://www.avsplus.sk>, 5 Abril de 2008
- [14] LIPPEL. <http://www.lippel.com.br>, 19 de Março de 2008
- [15] WoodPelletsLine, GEMCO ENERGY & LONGCHANG MACHINERY. www.woodpelletline.com, 5 de Abril de 2008
- [16] MANFREDINI & SCHIANCHI www.manfredinieschianchi.com, 7 de Abril de 2008
- [17] EQUIPAR Tecnologia Industrial Ltda. <http://www.equipartecnologia.com.br>, 18 de Março de 2008
- [18] Original Pallmann. <http://www.pallmann.com.br>, 18 de Março de 2008

- [19] BLISS – Impacting Industries Woldwire. <http://www.bliss-industries.com>, 8 de Abril de 2008
- [20] LA MECCANICA s.r.l. <http://www.lameccanica.com>, 8 de Abril de 2008
- [21] KAHL Pelleting Presses, Particularities of pelleting wood. <http://www.akahl.de>, 17 de Março de 2008
- [22] Alibaba. http://www.alibaba.com/catalog/11720825/6mm_Wood_Pellet.html, 17 de Março de 2008
- [23] WPM – Wood Pellet Mill. <http://www.biofuelmachine.com>, 18 de Março de 2008
- [24] Metso Minerals. <http://www.metsominerals.com>, 7 de Abril de 2008
- [25] PRICEMAQ. <http://www.pricemaq.com.br>, 9 de Abril de 2008
- [26] G & H Engineering (Scotland) Limited. <http://www.gheng.co.uk>, 20 de Março de 2008
- [27] MAFA. www.mafa.se, 22 de Março de 2008
- [28] COMERCIAL INDUSTRIAL E IMPORTADORA COMECA LTDA - Fabricante de Máquinas e Equipamentos para Pesagem, Ensaque e Controle de Produção. <http://www.comeca.com.br>, 19 de Abril de 2008
- [29] RIKA Metallwarenges.m.b.H. & Co KG. <http://www.rika.at>, 16 de Março de 2008
- [30] Holz Energie Zentrum. <http://www.holzpellet.com>, 16 de Março de 2008
- [31] ECOFOREST – Estufas Inteligentes. <http://www.ecoforest.es>, 8 de Abril de 2008
- [32] Thermorossi. <http://www.thermorossi.com>, 8 de Abril de 2008
- [33] BIOTEC Die Biomassheizung. <http://www.pelletsworld.com>, 9 de Abril de 2008
- [34] KÖB Holzfeuerungen GmbH. <http://www.koeb-holzfeuerungen.com>, 9 de Abril de 2008
- [35] INE - Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2006). *Agricultura, Florestas e Pesca - Estatísticas Agrícolas 2006*. Lisboa.
- [36] Ministério da Agricultura - Direcção Geral dos Recursos Florestais. (2006). *Estratégia Nacional para as Florestas - Resolução do Conselho de Ministros nº 114/2006 de 15 de Setembro*.
- [37] ADENE – Agência para a Energia / INETI - Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. (2001). *FORUM - Energias Renováveis em Portugal*.

- [38] INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação. (2000). *Guia Técnico Sector da Indústria da Madeira e do Mobiliário*. Lisboa.
- [39] Vasen, Norbert N., (2005). *Agri-Pellets – Prespectives of pellets from agricultural residues*.
- [40] Direcção Geral dos Recursos Florestais. (2006). *Inventário Florestal Nacional, 2005/06*.
- [41] Ministério da Agricultura – Direcção Geral dos Recursos Florestais. (2001). IFN – Inventário Florestal Nacional.
- [42] Fernandes, P. (1998). *Residual biomass in the Vale do Sousa region, Northern Portugal*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Citado em Mateus T. (2007). FEUP – Universidade do Porto. *O potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centras termoeléctricas a biomassa florestal lançadas a concurso*.
- [43] Silva, R., Tavares, M., Páscoa, F. (1991). Residual biomass of forest stands – *Pinus pinaster* Ait. and *Eucalyptus globulus* Labill, *Actas nº 5, 10º Congresso Florestal Mundial, Paris*. Citado em Mateus T. (2007). FEUP – Universidade do Porto. *O potencial energético da floresta portuguesa: análise do potencial energético disponível para as centras termoeléctricas a biomassa florestal lançadas a concurso*.
- [44] INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia e Inovação. (2001). *Guia Técnico Sector do Papel e Cartão*. Lisboa
- [45] Grupo Portucel Soporcel. (2007). *Grupo Portucel Soporcel assina Protocolo de Colaboração de Recolha e Tratamento de Biomassa no distrito de Aveiro* – Nota de imprensa.
- [46] EDP – Electricidade de Portugal. (2007). *Produção Bioeléctrica S.A., Central Termoeléctrica a Biomassa da Figueira da Foz*. TSI TECNINVEST. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. http://www2.apambiente.pt/IPAMB_DPP/.
- [47] EDP – Electricidade de Portugal. (2000). Central Termoeléctrica de Mortágua. Carnaxide.
- [48] Google maps. <http://maps.google.com>. 10 Abril de 2008
- [49] Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. (2006). *Plano Estratégico Nacional - Desenvolvimento Rural 2007 – 2013*. MADRP. Lisboa
- [50] Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas. (2005). Grupo de Trabalho de “Energias Alternativas”, Despacho de 12/10/2004 do Senhor Ministro da Agricultura, Pescas e Florestas. *Biomassa e Energias Renováveis na Agricultura, Pescas e Florestas - Ponto da situação, Junho de 2005*. MADRP. Lisboa
- [51] Direcção-Geral das Autarquias Locais. (2006). Presidência do Conselho de Ministros. Secretário de Estado Adjunto e da Administração Local. *Administração Local em Números 2005*.

- [52] Direcção Geral de energia e Geologia – Divisão de Estatística. (2005). *Consumo de Combustíveis no Mercado Interno – 2005*. www.dgge.pt, 15 de Abril de 2008.
- [53] Direcção Geral de energia e Geologia – Divisão de Estatística. (2005). *Consumo de Gás Natural de 2000 a 2005*. www.dgge.pt, 15 de Abril de 2008.
- [54] Diário da República, 1.^a série — N.º 211 — 2 de Novembro de 2007, Decreto-Lei n.º 363/2007
- [55] Infante, Fernando Sanz., Veiras, Gonzalo Piñeiro., (2004). *Aprovechamiento de la Biomassa Florestal Producida por la Cadena Monte-Industria – Situación Actual y Evaluación de Sistemas de tratamiento*. Artigos-online - Area de Inovación y Tecnología del Centro de Innovación e Servicios da Madeira <http://www.cismadeira.es>
- [56] GEVRAFI – Tratamento Orgânico de Resíduos Verdes. (2008). *Proposta de Trabalho Ref.º 41/08 – Fábrica de produção de pellets*.
- [57] DEUTZ – FAHR. <http://www.samedeutz-fahr.com/pt/deutz-fahr/>. 19 de Abril de 2008
- [58] DAF – A PACCAR Company. <http://www.dafrucks.com/>, 18 de Abril de 2008
- [59] Volvo Trucks Global. <http://www.volvo.com>, 18 de Abril de 2008
- [60] DEMUTH. <http://www.demuth.com.br>. 19 de Abril de 2008
- [61] TimBérica – Peças e máquinas florestais, lda. (2008). *Orçamento de equipamentos e custos de manutenção*. <http://www.timberica.com/>.
- [62] ROTTNE INDUSTRI AB. <http://www.rottne.com/uk/>. 21 de Abril de 2008
- [63] EUBIA - European Biomass Industry Association. <http://www.eubia.org/115.0.html>, 11 de Março de 2008
- [64] Mercedes-Benz UK, Trucks. <http://www2.mercedes-benz.co.uk>. 16 de Maio de 2008
- [65] Renault Trucks. <http://www.renault-trucks.pt>. 16 de Maio de 2008
- [66] ANYANG GENCO ENERGY MACHINERY CO. – GENERAL BIOMASS PELLETIZING SYSTEM. (2008) - *Quotation for complete wood pellets mill*.
- [67] COSTRUZIONI NAZZARENO s.r.l. (2008). *Estimate for the supply a production line of virgin wood pellets*. <http://www.nazzareno.it>.
- [68] BSW - Bag Solutions Worldwide, <http://www.bswtex.com>. 2 de Junho de 2008

[69] M.L.E. – Soluções de Climatização. Tabela de preços 2008 . P.V.P. <http://www.mle-ar.com/>

[70] AVECLIMA, Comércio de Equipamentos de Climatização. Lda. <http://www.aveclima.com>, 3
Junho de 2008